أفكار سبع هزت العالم

نيثان سبيلبرج و برايون أندرسون



أفكار سبع هزت العالم

أفكار سبع هزت العالم

تأليف
نيثان سبيلبرج
برايون أندرسون

ترجمة
أ.د./ أحمد عبد الله السماحي
أ.د./ فتح الله الشيخ



أفكار سبع هزت العالم

نيثان سبيلبرج
وبرايون أندرسون

Seven Ideas That Shook the Universe

Nathan Spielberg and
Bryon D. Anderson

الطبعة الثانية ١٤٣٢هـ-٢٠١١م
رقم إيداع ١١٣١٦ / ٢٠١٠
جميع الحقوق محفوظة للناشر كلمات عربية للترجمة والنشر
(شركة ذات مسئولية محدودة)

كلمات عربية للترجمة والنشر
إن كلمات عربية للترجمة والنشر غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبّر الكتاب عن آراء مؤلفه
مكتب رقم ٤، عقار رقم ٢١٩٠، زهراء مدينة نصر، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ‎+٢٠٢ ٢٢٧٢٧٤٣١‎ **فاكس:** ‎+٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥١‎
البريد الإليكتروني: kalimat@kalimat.org
الموقع الإليكتروني: http://www.kalimat.org

سبيلبرج، نيثان.
أفكار سبع هزت العالم / نيثان سبيلبرج، برايون أندرسون . - القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠١٠.
٣٢٤ص، ١٦٫٠×٢٣٫٠سم
تدمك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٦٢٦٣ ٥٦ ٧
١- الفيزياء
أ- أندرسون، برايون (مؤلف مشارك)
ب- العنوان
٥٣٠

المحتويات

تقديم

سمع الكثير من الناس بنجوم لامعة في مجالات العلوم مثل جاليليو ونيوتن وأينشتاين، لكن ليست لديهم فكرة واضحة عما قاموا به بالفعل. فعلى سبيل المثال، في عالم الإعلانات التليفزيونية القائم على فن البوب، يستخدم اسم أينشتاين — كما هو الحال بالنسبة لشارلي شابلن في تسويق أجهزة الكمبيوتر الشخصية — بعد أن كان قد ساعد في تحرير الطاقة المذهلة والمدمرة أحيانًا لنواة الذرة. ونأمل أن يصحح هذا الكتاب ذلك المفهوم الخاطئ وأمثاله، وأن يجعل الإنجازات العظمى لأينشتاين وغيره من العلماء أكثر وضوحًا.

وقد تبنينا منهجًا وصفيًّا لعدة مفاهيم فيزيائية أساسية كانت قد تطورت عبر السنوات القليلة الماضية، إلى جانب ربطها بالسياق التاريخي والفلسفي التي ظهرت فيه. وينصب التركيز هنا على أصل هذه المفاهيم ومعانيها ودلالتها وحدودها في ضوء فهمنا للطبيعة الفيزيائية للكون الذي نحيا فيه. إن ما قيل عن العلوم التطبيقية والتكنولوجيا قليل نسبيًّا لا يعدو أن يكون مجرد تعليقات فرعية أو توضيحية، كما أنه لا توجد الكثير من المناقشات حول التضمينات التفصيلية للعلم سواء لفائدة أو ضرر المجتمع. ولا يعنينا هنا تأثير العلم والتكنولوجيا على المجتمع أو السياسة أو البيئة.

من بين المفاهيم الرئيسية في هذا الكتاب مع منهج كوبرنيكوس في الفلك، ومنهج نيوتن في الميكانيكا وفكرة الطاقة ومفهوم الإنتروبيا والنظرية النسبية والنظرية الكمية ومبادئ الحفاظ والتماثلات. وقد تم تمثيل المواد والمفاهيم الكمية في المقام الأول من خلال الأشكال والرسوم البيانية. وهناك القليل من المعادلات التي وردت في الكتاب دون إثبات، وأحيانًا يتم تبريرها على أساس بساطتها ومعقوليتها، أو تشابهها مع غيرها.

وقد طورنا هذا الكتاب أصلًا للاستخدام في المناهج الجامعية التي تلبي متطلبات التعليم الجامعي القائم على الفكر الليبرالي. وأحد أهداف هذه المناهج تعريف الطلاب

ببعض التطورات الهامة في العلوم التي أثرت في ثقافتنا الحالية. وأثناء مراجعة الكتاب لطرحه أمام القارئ العادي، قمنا بحذف بعض المناقشات الأكثر تخصصًا، وكذلك الأسئلة المرجعية التي عادةً ما توضع في نهاية كل فصل. كذلك أعدنا كتابة بعض المواد وأضفنا بعض المناقشات حول أوجه الترابط بين الإنجازات العلمية المتنوعة بعضها بعضًا، آخذين في الاعتبار كلًا من الفلسفة والأدب. مع ذلك يظل تركيزنا الأساسي على المضمون الفيزيائي للأفكار موضوع المناقشة. ونعتقد أن المرء لا يستطيع أن يفهم تضمينات أو استخدامات الفيزياء في مجالات أخرى للفكر البشري دون فهم صحيح للفيزياء. ونأمل، مثلًا، أن يدرك قارئ هذا الكتاب أن النظرية النسبية لأينشتاين لا تعني أن كل شيء نسبي، كما هو الانطباع العام لدى معظم الناس.

كما هو الحال في هذا النوع من الكتب، من الصعب أن نقر بكل ما قدم الزملاء وبالمصادر والكتب التي لجأنا إليها، خاصة أولئك الذين ورد ذكرهم في تعليقات الأشكال. ونود هنا أن نقر على وجه الخصوص بفضل التعليقات والمساعدة التي حصلنا عليها من الأساتذة: دافيد أليندر، وويلبرت هوبين، وجون واتسون، وبوبي سميث من جامعة كِنت بولاية أوهايو، وكارول دونلي من كلية هيرام، وروبرت ريسنيك من معهد رينسيلر بوليتكنيك، وديوي ديكسترا من جامعة بويزي بولاية إيداهو، ورونالد براون من جامعة ولاية نيويورك في أوسويجو، وجاك سولز من جامعة كليفلاند بولاية أوهايو، ونلسون دولر من جامعة تكساس إيه آند إم، وثاد إنجليرت من جامعة وايومينج، ويوجين ميرزباتشر من جامعة شمال كارولينا. كما نقدر أيضًا مساعدة ديفيد سوبيل وروبرت ماك كونين، المحررين في دار جون ويلي وأبناؤه للنشر، ومجموعة العاملين بها. وقد أخذت جوان أندرسون على عاتقها مهمة إعداد مخطوطة الكتاب، ونحن ممتنين لها. كما نقدّر لكل من أليس سبيلبرج وويليام أمبروجيو إعداد النسخة الأولى من الكتاب الأصلي. وبالطبع فإن طلابنا كانوا بمثابة الدافع وراء إعداد هذه المادة في المقام الأول. وكالعادة دائمًا فإن أخطاء الحذف والتقصير مسئوليتنا.

إن سبيلبرج

بي دي أندرسون

الفصل الأول

مقدمة

المادة والحركة: الثورة العلمية المستمرة



سديم رأس الفرس في برج الجوزاء
(الصورة مهداة من مراصد جبل ويلسون وبالومار).

ثمة سحر خاص يكتنف الثورات والأفكار الثورية. وغالبًا ما يعتقد المشاركون في الثورات السياسية أنه باستبعاد النظام القائم، فإنهم يتحررون من الأغلال ببسالة، ويحققون قدرًا من الحرية الجديدة بشجاعة. وتحمل الثورات العلمية بين طياتها

سحرًا فكريًّا، وتمثل الإطاحة بطريقة فهم محددة للعالم الفيزيائي الذي نعيش فيه، كما أن التحرر من الأغلال قد تداخل بشكل ما مع المنظور السليم للعالم المادي. وربما يترتب على الثورات العلمية تأثيرات عميقة ودائمة وعادةً غير متوقعة على كيفية رؤيتنا وتعاملنا مع العالم المحيط بنا، وذلك على نحو يفوق الثورات السياسية. ووفقًا لهذا المفهوم، يمكن النظر إلى الأفكار الثورية العلمية على أنها تهز العالم الفكري. يعرض هذا الكتاب مقدمة لسبعة من أهم الأفكار وأكثرها ثورية في علوم الفيزياء.

الثورات والعلم

من الممكن اعتبار المشاركين الأفراد في تطوير وتوضيح التفكير العلمي على مدى ٥٠٠ عام مضت ضمن أعظم الثوريين وأكثرهم نجاحًا في العالم. لم تقع الثورات التي قادها هؤلاء الأفراد بين ليلة وضحاها، بل إنها تطلبت في حالات كثيرة عقودًا إن لم يكن قرونًا لاستكمالها. ومع ذلك، فقد أدت أعمالهم إلى ظهور أفكار ومفاهيم جديدة عن العالم والكون ومكانة البشر فيهما. وقد أثر نجاحهم بعمق على أساليب التفكير، كما عزز الاعتقاد بأن العقل والمنطقية أدوات فعالة لفهم الكون.

وفعليًّا تقبلت كل الفلسفات الاجتماعية والسياسية مفاهيم علمية محددة وتفاعلت معها، مثل: الطاقة، والنسبية والمطلقية، والنظام والاضطراب، والحتمية والشك. وكثيرًا ما استُخدم العلم — سواء أكان ذلك مبررًا أم لا — لتأييد أو دحض المفاهيم المختلفة للفكر الديني، واعتبر الكثيرون أن «المنهج العلمي» طريقة للتعامل مع كل مشكلات البشر تقريبًا. ويصف هذا الكتاب تطور الأفكار الفيزيائية الكبرى التي ساهمت في تشكيل النظرة الحديثة للكون وفي القبول العام للمنهج العلمي.

تعد الفيزياء أقدم العلوم وأكثرها تطورًا، كما أنها نموذج لجميع العلوم الأخرى. تختص الفيزياء بمناقشة التساؤلات الأساسية المتعلقة بطبيعة الكون الفيزيائي. فهي تطرح بعض الأسئلة، مثل ما أصل الكون؟ كيف نشأ الكون الفيزيائي وإلى أين يتجه؟ ما لبنات البناء الأساسية للمادة؟ وما القوى الأساسية في الطبيعة؟ ولأن الفيزياء تهتم بدراسة هذه الأسئلة وغيرها من الأسئلة الأساسية، فإنها تقدم الأسس التي تقوم عليها جميع العلوم الفيزيائية، وفي الواقع جميع العلوم البيولوجية أيضًا. ويقوم الوصف الأساسي لكل الأنظمة الفيزيائية على قوانين الكون الفيزيائي، التي يشار إليها عادةً باسم «قوانين الفيزياء».

ولأن الفيزياء هي أكثر العلوم أساسية، فإن أي استنتاج علمي يناقض مبادئ الفيزياء لا يمكن قبوله على أنه صحيح تمامًا. فمثلًا بعض الانتقادات العلمية التي وُجهت إلى أفكار تشارلز داروين عن التطور البيولوجي في البداية كانت قائمة على فرع من الفيزياء معروف باسم الديناميكا الحرارية (الثرموديناميكا). فقد بينت الحسابات الأولية لطول الزمن الذي ربما تكون قد استغرقته الأرض لتبرد من الحالة المنصهرة حتى تصل إلى درجة الحرارة الحالية أنه لم يتوفر الزمن الكافي لحدوث عمليات التطورية الضرورية (شعر داروين نفسه بالانزعاج كثيرًا عندما عرف ذلك). ومع إدراك أن النشاط الإشعاعي من الممكن أن يمد الأرض بحرارة داخلية إضافية في أواخر القرن التاسع عشر فقط، صار من الممكن إثبات أن الأرض ربما انخفضت حرارتها ببطء أتاح الوقت اللازم لحدوث عمليات التطور وفقًا لمفاهيم داروين. والآن تقدم تقنيات التأريخ باستخدام النشاط الإشعاعي — والمشتقة من الفيزياء النووية — دعمًا إضافيًّا لهذه الفكرة.

وفي الواقع يقال إن كل العلم يتكون من جزأين؛ هماالفيزياء وباقي العلوم الأخرى التي لا تعدو أن تكون أشبه بمطاردة الفراشات.* وتؤكد هذه المبالغة على جانبين من الجوانب المتعلقة بالمساعي العلمية: جمع وتصنيف المادة الوصفية، وفهم أسباب الظواهر المتنوعة في ضوء المفاهيم الأساسية. وتتضمن كل العلوم، ومنها الفيزياء، هاتين السمتين. ومع ذلك تختص الفيزياء عن غيرها من العلوم الأخرى بأن التقدم الحقيقي لا يحدث إلا عند التوصل إلى فهم للظواهر.

لقد انتقينا المفاهيم الفيزيائية المهمة المطروحة في هذا الكتاب نظرًا لطبيعتها الأساسية والجاذبية المتأصلة فيها. وهي تمثل نقاط تحول كبرى في تقدم علم الفيزياء. وسنقدم هذه المفاهيم باستخدام مصطلحات جامعة وتمهيدية على أمل أن يكتسب القارئ بعض الفهم لموضوعاتها الرئيسية، وكيفية تطورها، إضافة إلى ما تتضمنه من تأثير على فهمنا للكون. وسيتعلم القارئ كذلك بعض الأمور عن المصطلحات المستخدمة في الفيزياء. أما المناقشات المحددة حول المنهج العلمي وفلسفة العلوم، فستكون بالأحرى مناقشات سطحية غير متعمقة، على الرغم من أن مثل هذه الاهتمامات مهمة في إثبات صحة المفاهيم العلمية. علاوة على ذلك، ثمة قدر

*قال رذرفورد قولًا شبيهًا: «العلم الحقيقي هو الفيزياء، وما عداه جمع طوابع»، على الرغم من أنه حصل بعد ذلك على جائزة نوبل في الكيمياء. (المترجمان)

ضئيل نسبيًّا من المناقشات المعنية بالثمار العملية أو النتائج المترتبة على المشاريع العلمية، على الرغم من أن تلك النتائج — بدءًا من اختراع ألعاب الفيديو والآلات الحاسبة مرورًا بالحفاظ على الحياة وإطالتها ووصولاً إلى الرعب الذي تثيره الحروب النووية — هي التي تحفز الاهتمام البالغ بالعلوم الفيزيائية في كل أنحاء العالم الحديث.

الموضوعات المهيمنة في علم الفيزياء

هناك موضوعان رئيسيان يغلبان على تطور الفيزياء: (١) المادة والحركة، (٢) البحث عن الترتيب والنسق. يمثل الموضوع الأول محاولة فهم؛ أما الثاني، فيمثل محاولة تصنيف.

يبحث علم الفيزياء في المادة والحركة. وأحيانًا ينصب التركيز على واحدة منهما دون الأخرى والعكس، إلا أنه من المهم أيضًا دراسة التفاعل بين الاثنين. وفي الحقيقة، لا يتضح التمييز بين المادة والحركة في النظريات الحديثة للنسبية وميكانيكا الكم. وتعتبر المادة في بنيتها الدقيقة النهائية في حالة حركة دائمًا. حتى في ظل الظروف التي تتوقف فيها مسببات الحركة عن العمل، فإن المادة تظل في حالة حركة تسمى حركة نقطة الصفر أو طاقة نقطة الصفر.

لا تهتم الفيزياء بفكرة «العقل فوق المادة» — أي استخدام العقل للتحكم في المادة والحركة — وإنما تهتم بدلًا من ذلك بفهم المادة والحركة. وأحيانًا يشغل الفيزيائيون أنفسهم بـ«الطبيعة الحقيقية للواقع»، إلا أن مثل هذه الاعتبارات تُترك غالبًا للفلاسفة. وهناك حدود للفهم العلمي، وأحد أهداف هذا الكتاب توضيح بعض هذه الحدود، على الأقل عند هذه النقطة من تطور العلوم.

وكفرع من المعرفة البشرية، يهتم العلم بتصنيف وتقسيم الأشياء والظواهر. وهو يبحث عن العلاقات بين الأشياء والظواهر، ويسعى دائمًا إلى وصف هذه العلاقات باستخدام التمثيل الهندسي؛ سواء في صورة رسوم بيانية أو مخططات شجرية أو خرائط تدفق أو غير ذلك. وغالبًا ما تلاحظ أوجه التناظر والتكرار في هذه العلاقات، وذلك حتى يتركز الاهتمام على العلاقات بقدر تركيزه على الأشياء أو الظواهر موضوع هذه العلاقات. يتوق العلم دائمًا إلى إيجاد أبسط العلاقات العامة وأكثرها عالمية. ويؤدي ذلك بالطبع إلى التوصل إلى نماذج ونظريات تبسط وتمثل وتوسع نطاق العلاقات المختلفة.

فمثلًا، يقال أحيانًا إن الذرة تشبه نموذجًا مصغرًا من المجموعة الشمسية تمثل النواة فيها الشمس، بينما تمثل الإلكترونات الكواكب. ووفقًا لنموذج المجموعة الشمسية ذلك، يمكن الإشارة إلى احتمال دوران النواة والإلكترونيات بالطريقة نفسها التي يدور بها نظيراتها في المجموعة الشمسية. وبذا، يصبح من الممكن استكشاف المدى الذي يصل إليه تطور العلاقات نفسها في الذرة كما في المجموعة الشمسية. تؤدي المجموعة الشمسية دور نموذج الذرة، وإن كان نموذجًا غير مكتمل، وبذلك، فإنها تساهم في فهمنا للذرة.

التطور المستمر للمعرفة العلمية: الأفكار السبع

تقوم المعرفة العلمية على التجارب التي يقوم بها البشر، حيث لا تتحقق في لحظة مثيرة للدهشة. وسيكون هناك دائمًا المزيد من التجارب التي تجرى لزيادة كمية المعرفة العلمية المتاحة. وقد تكون النتيجة التراكمية لهذه التجارب فهم أنساق جديدة في مخزون المعرفة العلمية أو الإقرار بأن الأنساق التي اعتبرت شاملة في يوم ما لم تكن كذلك في نهاية الأمر. وقد نستغني عن الأفكار التي كانت مؤكدة سابقًا، أو نعدّلها بقدر كبير نتيجة اكتشاف أنساق جديدة أو مختلفة للظواهر. إن اللغط والقلق والمراجعة والتحديث الذي يعتري المفاهيم العلمية بصورة دائمة هو ما أدى إلى تطور الأفكار السبعة الرئيسية في الفيزياء، والتي سنناقشها في هذا الكتاب. وسوف يوضح الاستعراض الموجز لهذه الأفكار الموضوعات الرئيسية الخاصة بها.

١- الأرض ليست مركز الكون: علم الفلك الكوبرنيكي

منذ ٢٠٠٠ عام تقريبًا، بدءًا من زمن أرسطو إلى ما بعد رحلات كولومبوس إلى العالم الجديد بقليل، كان يعتقد أن الأرض تقع في مركز الكون، حرفيًّا ومجازيًّا، في الواقع وفي المفهوم اللاهوتي. وتتضمن أول الثورات العلمية الرئيسية التي سنناقشها إحياء وترسيخ وتوسيع نطاق فكرة مناقضة لهذا الاعتقاد؛ وهي أن الأرض ليست سوى كوكب صغير ضمن كواكب عديدة تدور حول الشمس التي هي الأخرى ليست سوى نجم واحد بعيد عن مركز مجرة محددة (ثمة العديد منها) في كون شاسع لا حد له. ربما كانت هذه الثورة العلمية الأولى هي الأشد وطأة، ليس فقط بسبب ما لاقته من رد فعل، داخل وخارج نطاق العالم الفكري، بل كذلك لأنها تضمنت

دافعًا وراء ظهور أفكار ثورية أخرى. ولم ينقح كوبرنيكوس علم الفلك فقط، بل إنه استفاد من الأفكار الخاصة بالحركة النسبية ومن بساطة النظريات العلمية.

٢- الكون آلية تعمل وفقًا لقواعد راسخة: الفيزياء النيوتونية

تخضع كل الأشياء الموجودة في الكون لقوانين الفيزياء. فإسحاق نيوتن — في عرضه لقوانين الحركة وقانون الجاذبية الكونية — نجح في توضيح الأساس الفيزيائي الراسخ والمضمّن في الأفكار الخاصة بعلم الفلك الكوبرنيكي. وقد بين نيوتن ومن سار على دربه من العلماء أن هذه القوانين والقوانين المماثلة الأخرى تشكل أساس عمل الكون المادي بأكمله، سواء بوجه عام أو بوجه أدق تفصيلاً. بالإضافة إلى ذلك تتسم هذه القوانين بأنها شاملة ومفهومة. وكما سيتضح من العرض التفصيلي الوارد في الفصل الثالث، فإن هذه الفكرة الثانية — والتي تربط السبب بالنتيجة (السببية)، بعيدًا عن تحكمها في الظواهر الطبيعية والاصطناعية وفي الآليات والوسائل — لها تأثيرات بعيدة المدى على المذهبين المتناقضتين؛ الحتمية (القدرية) وحرية الإرادة.

٣- الطاقة تحرك الآلية: مفهوم الطاقة

على الرغم من طبيعتها الشمولية، إلا أن الفيزياء النيوتونية — علم الميكانيكا — لا تقدم وصفًا مقبولًا تمامًا للكون؛ فنحن في حاجة إلى معرفة السبب وراء الحفاظ على سير هذه الآلية الرائعة. اعتبر القدماء أن الآلهة هي التي تحرك كل شيء في هذا الكون. أما الفكرة الثالثة، فتشير إلى أن الطاقة هي التي تحافظ على سير الكون وتظهر الطاقة في صور مختلفة يمكن تحويل أي منها إلى الأخرى. وفي الواقع، تعبر أزمة الطاقة التي تحدث بين الحين والآخر والتي تسبب حالة من الذعر عن وجود عجز في أحد أشكال الطاقة هذه وعن المشكلات الناتجة من الحاجة إلى تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى. ويمكن استيعاب ماهية الطاقة من خلال مقارنتها بالنقود. فالنقود وسيلة للتبادل والتفاعل بين البشر. بالمثل كثيرًا ما يتم تبادل الطاقة في التفاعلات التي تحدث بين الأجسام المختلفة في الكون. وكما أن هناك عادةً حدًّا لكمية النقود المتاحة، فهناك حد لكمية الطاقة المتاحة أيضًا. ويعبر عن هذا الحد بمبدأ الحفاظ على الطاقة، الذي يحكم توزيع الطاقة في صورها المختلفة. (ينص مبدأ الحفاظ على الطاقة على أن «الطاقة لا تستحدث ولا تفنى، ولكنها تتحول من صورة إلى أخرى.») وكما سنناقش بالتفصيل في الفصل الثامن، هناك كميات أخرى

غير الطاقة يتم تبادلها أثناء التفاعلات بين الأجسام المادية، وتخضع كذلك لمبادئ الحفاظ على الطاقة.

٤- الآلية تتحرك في اتجاه محدد: الإنتروبيا والاحتمالية

على الرغم من إمكانية تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى بدون أي فقد فيها، فإن هناك قيودًا على درجة القابلية للتحول. وإحدى تبعات هذه القيود المفروضة على إمكانية تحول الطاقة من صورة إلى أخرى تحديد نظام مسلسل زمنيًّا وشامل للأحداث الماضية في الكون. ويتم التحكم في القيود المفروضة على قابلية التحويل من خلال القواعد نفسها التي تحكم عملية إلقاء النرد (زهر الطاولة) في لعبة مقامرة نزيهة، وهو ما يعرف باسم قوانين الصدفة (علم الإحصاء). ويشير ذلك إلى إمكانية تعديل الثورة المتأصلة في فكرة الحتمية على الأقل بواسطة ثورة مضادة. وتدل هذه الاعتبارات على أن الحرارة، إحدى الصور الممكنة للطاقة، لا بد أن يُنظر إليها على أنها صورة «متناقصة» من صور الطاقة، وهو استنتاج يتحتم تذكره بصفة خاصة في الأوقات التي تثار فيها مشاكل الطاقة الخطيرة.

٥- الحقائق نسبية، لكن القانون مطلق: النسبية

تمتد جذور مفاهيم نظرية النسبية إلى بعض الخلافات التي أثيرت أثناء تطور علم الفلك الكوبرنيكي. ومع أن ألبرت أينشتاين يرتبط الآن عالميًّا بنظرية النسبية، فإنه لم يبتدع الفكرة التي تقول إن معظم ما نراه يعتمد على وجهة نظرنا (أو بتعبير أكثر دقة على إطارنا المرجعي). وفي الواقع طور أينشتاين نظريته في الأصل ليكتشف تلك الأشياء الثابتة (المطلقة وغير المتغيرة)، وليس الأشياء النسبية. وكان معنيًّا بالأشياء العالمية التي تتشابه من جميع وجهات النظر. وبالرغم من ذلك، وبدءًا من الفكرة التي اعتبرت ثورية حينئذٍ والتي تقول إن سرعة الضوء لا بد وأن تكون ثابتة بغض النظر عن الإطار المرجعي للمُشاهد، فإنه تمكن من إثبات أن كثيرًا من الأشياء التي كان يُعتقد أنها غير متغيرة أو مطلقة، مثل المكان والزمان، هي نسبية. أعاد أينشتاين اختبار المفاهيم الأساسية للزمان والمكان، وأوضح أن هذه المفاهيم متداخلة إلى حد بعيد. وقد كان عمل أينشتاين في الواقع جزءًا من إعادة الاختبار العام للمفاهيم الأساسية والافتراضات السائدة في ذلك الوقت في كل من الفيزياء والرياضيات، كما

أنه بيَّن للفيزيائيين أنهم لا يستطيعون إهمال الاعتبارات الفلسفية والميتافيزيقية كلية.

٦- لا يمكن معرفة أو التنبؤ بجميع الأشياء: نظرية الكم وحدود السببية

نشأت هذه الفكرة — التي ترفض مبدأ الحتمية المطلق والذي ظهر نتيجة الفيزياء النيوتونية — دون أن تشوبها محاولة التوصل إلى صورة أدق للبنية تحت الميكروسكوبية للذرة. وفي بداية القرن العشرين، اكتشف العلماء أن الذرات تتكون من الإلكترونات والأنوية، حيث أُجريت محاولات للحصول على معلومات أكثر دقة حول حركة الإلكترونات. ومع ذلك، لا يمكن الوصول إلى هذه الصورة الأدق، ومن الضروري أن نمعن التفكير فيما يمكن معرفته مادًّا، وكذلك في الطبيعة الفعلية للواقع. وعلى الرغم من أنه لا يمكننا الحصول على صورة دقيقة للغاية للبنية الأساسية للذرة، فإن لدينا بالفعل صورة واضحة إلى حد بعيد. وبذا، يصبح من الضروري استخدام طرق جديدة لوصف الذرات والأنوية: يمكن أن تتواجد الأنظمة فقط في «حالات كمية» معينة، ويمكن فهم الكميات المقيسة فقط في ضوء الاحتمالات. وربما تتيح هذه الصورة الجديدة وغير الواضحة إمكانية الفهم التفصيلي للكيمياء، وإنتاج تلك الأشياء التي تثير الدهشة، مثل الترانزستورات، والليزر، وأفران الميكروويف، واتصالات الرادار، والسبائك فائقة القوة، والمضادات الحيوية، وغيرها.

٧- الأشياء لا تتغير مطلقًا: مبادئ الحفاظ والتماثلات

ما زالت الفكرة الثورية السابعة — التي تتعارض مع الفكرة العامة القائلة إن كل الأشياء لا بد وأن تتغير — تمر بمرحلة التطور، ولم تتضح بعد النتائج المترتبة عليها كاملةً. مع ذلك تنص هذه الفكرة على أن بعض الكميات «محفوظة»، بمعنى أنها تظل ثابتة ودون تغيير. وعلى الرغم من القيود التي تفرضها الفكرة السابقة، فإن الفيزياء تواصل استكشاف البنية النهائية للمادة، والتي تتضمن كميات هائلة من الطاقة. وربما تكون وحدات البناء الأساسية وغير المحددة للطبيعة معروفة الآن، وربما تتضمن هذه الوحدات جسيمات مثل الكواركات التي تتكون منها البروتونات والنيوترونات. وهنا يثار تساؤل بديهي عن القواعد التي تحكم البنية الأساسية، وعما تكشف عنه هذه القواعد من حقائق بشأن طبيعة العالم المادي. وكما أشرنا من قبل، فإن هناك كميات أخرى محفوظة إلى جانب الطاقة تؤثر في التفاعلات التي

تحدث بين المكونات الأساسية للمادة، وذلك وفقًا لقواعد محددة أو لمبادئ الحفظ. ورياضيًّا تمثل كل قاعدة من تلك القواعد تماثلًا معينًا. وقد نتج كل هذا التقدم الحديث في تحديد وحدات بناء المادة مباشرةً من إدراك العلاقة الوطيدة بين قوانين الحفاظ والتماثلات في عالمنا الفيزيائي. وحيث إن تلك الفكرة ما زالت قيد التطوير، فإن أسئلة أخرى تطرح نفسها: هل يمكن فصل المادة والطاقة عن الزمكان (الزمان والمكان) اللذين تشاهدان فيه؟ ما طبيعة الزمكان، وكيف يؤثر «شكله» و«تماثله» على مبادئ الحفاظ المتنوعة التي تبدو فاعلة على مستوى العالم أجمع؟ وبالنسبة لهذا الأمر، هل هناك بالفعل بنية أساسية أو مبدأ توحيد أساسي في العالم المادي؟ ربما لن نعرف الإجابة النهائية أبدًا، لكن الفيزيائيين يسعون باستمرار لإيجاد نظام ضمن الشَواش الذي يقع خارج حدود فهمنا.

وليس هناك من سبب يدعو لافتراض أن هذه الأفكار الثورية السبع هي الوحيدة التي ستتطور في الفيزياء. ومن الممكن مقارنة الفيزياء بسيمفونية غير مكتملة، بمعنى أن هناك إمكانية لظهور حركات جديدة. وسوف تستخدم هذه الحركات الجديدة موضوعات متكررة وموضوعات جديدة، وكذلك الموضوعات التي ستنشأ من الحركات السابقة. على سبيل المثال، لا يختلف البحث عن تماثلات في أكثر المجالات تقدمًا في فيزياء الجسيمات الأولية اختلافًا كبيرًا عن البحث عن الكمال في العالم المادي الذي ميز العلم الإغريقي. وبسبب كل من الموضوعات المتكررة والجديدة والتفاعل بينها، يمكن وصف الفيزياء بأنها «جميلة»، تمامًا مثلما نصف السيمفونيات والأعمال الفنية بأنها جميلة من الناحية الفكرية. (وكثيرًا ما تكون البساطة الشديدة التي تتميز بها الأفكار الفيزيائية سر هذا الجمال.)

وهناك طرق عديدة يمكن من خلالها تقديم المقطوعات السيمفونية إلى الجمهور. فأحيانًا يتم عزف حركة واحدة أو حركتين فقط، أو يعاد ترتيب القطعة الموسيقية لتختلف عن الترتيب الأصلي. وفي هذا الكتاب، سوف نتناول الحركات الخاصة بسيمفونية الأفكار السبع وفقًا للترتيب الذي تطورت به خلال فترة امتدت من مائتي وخمسون إلى ثلاثة آلاف سنة. وعلى الرغم من أن هذا الترتيب الزمني ليس الأفضل بالضرورة من وجهة نظر التطور المنطقي من المبادئ الأساسية، فإنه مع ذلك يؤدي إلى تيسير فهم الأفكار وإلى التعرف على السياق الذي تطورت فيه بصورة أفضل. كذلك، فإنه يتيح إمكانية التبصر بالتطور المستمر في علم الفيزياء على مستوى أعمق.

يتفق الترتيب التاريخي إلى حد ما مع الترتيب الذي يتناقص به حجم الأشياء موضوع الدراسة (تأتي النجوم والكواكب في المقدمة، بينما تعد الجسيمات تحت الذرية وتحت النووية الأكثر حداثة.) ويتماشى تناقص حجم الأشياء موضوع الدراسة، تماشيًا متناقضًا للغاية مع زيادة شدة القوى التي تؤثر في تلك الأشياء، بدءًا من قوى الجاذبية الضعيفة جدًّا التي تعمل في الكون على مقياس ضخم، وحتى القوة فائقة الشدة التي تربط الكواركات معًا (مكونات النوويات والميزونات). كذلك من المفارقات، أنه كلما زادت دراسة السمات الأساسية والرئيسية للمادة والطاقة، أصبح النقاش أكثر تجريدًا.

فيزياء بدون رياضيات؟

يتسم عرض هذا الكتاب بأنه غير رياضي. فالقارئ الذي لديه القليل من الخبرة في علم الرياضيات، سوف يتمكن من متابعة التطور التصوري. ومع ذلك فالفيزياء علم كمي إلى حد بعيد يدين بنجاحه لإمكانية تطبيق الرياضيات على مادة موضوعه. ويعتمد نجاح أو فشل النظريات الفيزيائية على مدى دعم العمليات الحسابية التفصيلية لهذه النظريات، ولا يمكن للمناقشات الجيدة للمفاهيم الفيزيائية أن تتجاهل علم الرياضيات. ومع ذلك، فمن الممكن تقليص الاعتماد على الرياضيات عند طرح العلوم أمام عموم الناس، كما هو الحال بالنسبة لمجلتي ساينتيفيك أميريكان Scientific American وإنديفور Endeavor. ومن الممكن توصيل المفاهيم والمناهج الأساسية في الفيزياء بنجاح معقول باستخدام أدنى قدر من الرياضيات. وفي النهاية، يبدو أن الطبيعة تتبع عددًا قليلًا من القواعد التي تثير الدهشة ببساطتها. ويمكن وصف هذه القواعد — قوانين الفيزياء — بوجه عام وبوضوح بالاستعانة بالقليل من علم الرياضيات. أما الأمور التي تتطلب درجة كبيرة من الكفاءة في علم الرياضيات، فهي اكتشاف وتوسيع نطاق وتطبيق هذه القوانين.

وفي بعض الأحيان يمكن تجنب استخدام الكثير من الرياضيات، وذلك بتقديم العلاقات الكمية باستخدام الرسوم البيانية. فالرسم البياني المختار بعناية، تمامًا كالصورة، يساوي آلاف الكلمات (وكذلك المعادلة الرياضية المختارة بعناية تساوي آلاف الأشكال). ومع ذلك، هناك عدد قليل من الحالات التي يكون فيها استخدام المعادلات أمرًا ضروريًّا، لكن هذا الكتاب لا يحتوي على استنتاجات — مختصرة أو مفصلة — للمعادلات.

تعد أساليب التشبيه مفيدة كذلك في تقديم العلاقات الرياضية. فأثناء مناقشتنا لمفهوم الطاقة، شبهنا الطاقة بالنقود. وهناك مثال آخر أشرنا إليه بالفعل وهو التشابه بين بنية الذرة وبنية المجموعة الشمسية، على اعتبار أن الإلكترونات الذرية تلعب دور الكواكب. فاستخدام التشبيهات يسهل عملية استرجاع المعرفة العامة عند مناقشة المفاهيم الصعبة، وفي الحقيقة، لعبت التشبيهات والنماذج دورًا هامًّا في تطور الفيزياء.

وبالعودة إلى التشبيه السيمفوني سالف الذكر، ثمة اتفاق عام على أن الشخص المثقف لديه بعض التقدير للموسيقى. ولا يحتاج مثل هذا الشخص أن يكون موسيقيًّا أو حتى دارسًا للموسيقى، لكن لا بد أن يكون معتادًا على موضوعات وإيقاعات وأصوات الموسيقى، وأن يكون مقدرًا لها. ويمكن اكتساب الاعتياد والتقدير دون لمس أية آلة موسيقية. بالمثل لا بد أن يتمتع الشخص المثقف حقًّا بقدر من الاعتياد والتقدير لموضوعات وإيقاعات وحقائق العلم. ولا يتعين على هذا الشخص إجراء العمليات الحسابية، سواء أكانت سهلة أم صعبة. وبالطبع سيزداد تقدير النقاط الدقيقة وتعظيم العلم كثيرًا إذا كان الإنسان ملمًّا ببعض المعرفة حول كيفية إجراء العمليات الحسابية، وسوف يصل هذا الشعور إلى أوجه إذا كان الشخص عالمًا، وكذلك الحال بالنسبة لتقدير الشخص للموسيقى إذا كان موسيقيًّا. ومع ذلك، فالموسيقى ليست ولا يجب أن تكون وقفًا على من يجيدون استخدام الآلات الموسيقية، كما أن العلم ليس ولا يجب أن يكون وقفًا على أولئك الذين يتمتعون بقدرات رياضية.

ومن الممكن، ولو أنه أمر صعب، لشخص موهوب يتمتع بقدرات رياضية محدودة أن يصبح عالم فيزياء متميزًا. وقد كان مايكل فاراداي، العالم البريطاني الشهير من القرن التاسع عشر، مثالًا لهذا الشخص. أسهم فاراداي اليتيم الذي تعلم ذاتيًّا بالكثير في كل من الكيمياء والفيزياء. كما أنه قرأ الكثير من الكتب، وباستخدام قدراته المحدودة في الرياضيات، اكتشف أن أساليب التشبيه مفيدة جدًّا. ابتكر فاراداي مفهوم خطوط القوى ليعبر عن المجالين الكهربي والمغناطيسي، مستخدمًا التشبيه بشرائط المطاط. ويرجع إليه الفضل في استخدام هذا التشبيه لتطوير فكرة أن الضوء ظاهرة للموجات الكهرومغناطيسية. وقد اعترف جيمس كلارك ماكسويل الذي طور بعد ذلك النظرية الرياضية الرسمية للطبيعة الكهرومغناطيسية للضوء، أنه بدون الحدس الفيزيائي لفاراداي، ما أمكن له أن يطور نظريته الأكثر دقة.

إن هذا الكتاب مكرس لفكرة أن الأذكياء من العامة يمكنهم استيعاب وتقدير مدلول المفاهيم الفيزيائية الكبرى دون الوقوع في شرك الرياضيات. يتركز الاعتماد هنا على قدرات القراءة وليس القدرات الرياضية، وعلى استعداد القارئ لفهم بعض الأمور عن اقتناع دون الحاجة إلى تبريرها. فغاية الكتاب ليست تقديم البراهين والإثباتات، وإنما توضيح الأمور.

العلم ومحاولات بشرية أخرى؛ أوجه الاختلاف والتشابه

سيكون من المفيد إنهاء هذا الفصل بعقد مقارنة بين العلم وبعض الأنشطة الأخرى، وبمناقشة مختصرة للمنهج العلمي. وهناك عدد من المفاهيم الخاطئة لا بد من التغلب عليها، من أجل فهم أفضل لما يدور حوله العلم.

من المثير للدهشة أن هناك بعض التشابه بين العلم والسحر. وبصرف النظر عن طبيعة السحر التي تقوم على التحايل، عادةً ما ينظر إلى العلم والسحر على أنهما متضادين، وتحديدًا لأن معرفة السحر مقصورة بالضرورة على عدد قليل من الممارسين المبتدئين، كما أنها غير منطقية على الأقل إلى حد ما. على العكس، فإن معرفة وممارسة العلم متاحتان لكل من لديه قدرًا كافيًا من الملكة العقلية للبشر. ومع ذلك، فإن كلًّا من العلم التطبيقي والسحر تحركه الدوافع نفسها، بما في ذلك الرغبة في فهم الطبيعة وفرض السيطرة عليها وإخضاعها للإرادة البشرية. ودائمًا ما تكون هناك رغبة في تفسير الظواهر السحرية أو الخارقة باستخدام المبادئ العلمية. وقد اشتقت بعض فروع العلم على الأقل جزئيًّا من السحر — فالكيمياء مثلًا مشتقة من السيمياء* (Alchemy). بل إن هناك قوانين ومبادئ معينة في السحر تتشابه مع قوانين ومبادئ أخرى في العلم.

فممارسة الودونية (Voodoo) — ديانة قديمة تقوم على السحر والشعوذة — مثلًا تستخدم قانون. ففيها يقوم أحد الأطباء السحرة بعمل دمية تمثل شخصًا ما، ثم يغرس فيها إبرًا أو يلطخها بالأوساخ ليتسبب ذلك في الألم أو المرض للشخص الذي تمثله الدمية. وفي العلم أو التكنولوجيا، يتم تصميم النماذج الرياضية أو العقلية لتمثل الشيء الذي يكون موضوع الدراسة، وتجرى التجارب على النموذج للتعرف

*السيمياء: كيمياء السحر التي تهتم بالحصول على أكسير الحياة الخالدة وتحويل الفلزات الخبيثة إلى ذهب. (المترجمان)

على ما قد يحدث لهذا الشيء أو تلك الظاهرة تحت ظروف معينة. ومفهوم طبعًا أن النموذج ليس هو الشيء الحقيقي، لكن استخدامه يؤدي إلى الحصول على معلومات قيمة.

ويعتبر كثير من الناس أن كلًّا من العلم والدين طريق إلى الحقيقة. وفي أوربا في العصور الوسطى، على الأقل، اعتبر العلم وصيفًا لعلم اللاهوت، وما زال الكثير من الناس يصارعون مشكلة الدمج بين معتقداتهم العلمية والدينية. وغالبًا ما تقابل الاكتشافات أو التقدمات العلمية الجديدة والكبرى على أنها إما تؤيد أو تدحض وجهة نظر لاهوتية معينة. وفي هذا الصدد، من المهم أن نضع نصب أعيننا بعض السمات الضرورية المميزة للعلم. فالعلم والاستنتاجات العلمية أمور تجريبية دائمًا ما تخضع لعمليات التنقيح عند اكتشاف دليل جديد. لذلك، فإن إسناد المعتقدات الدينية إلى الأسس العلمية يوفر تأييدًا للدين لا يمكن وصفه سوى بأنه غير جدير بالثقة.

يهدف العلم إلى تفسير الظواهر باستخدام المصطلحات التي يمكن أن يفهمها الناس دون طلب وحي أو تدخل إلهي. ولا بد للمعرفة العلمية أن تكون قابلة للتحقق أو الاختبار، ويفضل أن يتم ذلك باستخدام مصطلحات كمية. أما المعجزة، من جهة أخرى، فلا يمكن تفسيرها علميًّا، وإلا لما اعتبرت معجزة من الأساس. وعمومًا، فالمعجزات غير قابلة للتكرار، بينما الظواهر العلمية يمكن أن تتكرر. ويرجع السبب وراء نجاح العلم في مساعيه على هذا النحو إلى حقيقة أنه قد قيد نفسه بالظواهر أو المفاهيم التي يمكن اختبارها مرارًا وتكرارًا، عند الرغبة في ذلك. إلا أن قبول مثل هذه القيود يعني أن العلم لا يستطيع أن يكون أداة لتوجيه سلوك أو الأخلاق أو إرادة البشر، فضلاً عن تحديد أي الأفعال الحسية ممكن من الناحية المنطقية. وبالإضافة لذلك، لا يمكن للعلم من الناحية المنطقية أن يبحث في التساؤل الخاص بالسبب الأساسي وراء وجود الكون على الإطلاق، على الرغم من أنه من المثير للدهشة إدراك أن هذا الكم الهائل من تاريخ وتطور الكون إنما استُنبط من خلال العلم.

كان العلم عمومًا، والفيزياء بالتحديد، يعتبر فيما مضى فرعًا من فروع الفلسفة المعروفة باسم الفلسفة الطبيعية. أما الميتافيزيقيا، فهي فرع الفلسفة الذي يتناول طبيعة الواقع، وتحديدًا باستخدام المفهوم الدنيوي وليس اللاهوتي. ومن الأسئلة التي تتعلق بمجال الميتافيزيقيا: هل هناك مبادئ موحدة في الطبيعة، وهل الواقع مادي أم خيالي أم يعتمد فقط على إدراكنا الحسي. بل ويصل الأمر إلى أن بعض

المفاهيم مثل المكان والزمان — اللذين يلعبان دورًا مهمًا في صياغة الفيزياء — تقع في مجال الميتافيزيقيا. ووفقًا لهذا المفهوم، فإن الفلسفة ترتبط كثيرًا بالفيزياء (على الرغم من أن الفلاسفة لم يسهموا بمعرفتهم الفلسفية كثيرًا في الفيزياء). كذلك، فإن النتائج التجريبية للفيزياء ترتبط بدورها بالميتافيزيقيا ارتباطًا كبيرًا.

وقد كان لنتائج الفيزياء أيضًا بعض التأثير (أحيانًا بالاستناد إلى التفسيرات الخاطئة) على الأخلاق، من خلال تأثيرها على الميتافزيقيا في المقام الأول. فمثلًا، اقتبس مؤيدو فكرة النسبية الأخلاقية وجهات نظرهم من النظرية النسبية، وهو ما لم يرض عنه ألبرت أينشتاين.

ومن المهم التمييز بين العلم والتكنولوجيا. يعرف القاموس التكنولوجيا على أنها: «مجموع الوسائل المستخدمة لتوفير الأشياء الضرورية لدعم البشر ورفاهيتهم.» ويقع العلم التطبيقي ضمن هذه الوسائل. أما العلم على الجانب الآخر، فيعد كيانًا منظمًا من المعرفة التي يمكن استنباط تفاصيلها من عدد صغير نسبيًّا من القوانين العامة باستخدام التفكير العقلاني. وقد يفكر المرء في معجون الأسنان، والتليفزيون، والدوائر المتكاملة، وأجهزة الكمبيوتر، والأدوية، والسيارات، والطائرات، والأسلحة، والملابس، وغيرها، وفي الوسائل والتقنيات الخاصة بإنتاجها على أنها نواتج أو مكونات للتكنولوجيا. أما «نواتج» أو مكونات العلم، على الجانب الآخر، فتتمثل في قوانين نيوتن للحركة، والتأثيرات الكهروضوئية، وثبات سرعة الضوء في الفراغ، وفيزياء أشباه الموصلات، وغيرها، والتقنيات الخاصة بدراستها.

إن أوجه الاختلاف بين العلم والتكنولوجيا ليست محددة أو واضحة دائمًا. فيمكن اعتبار أن أشعة الليزر — على سبيل المثال — تنتمي إلى نطاق العلم أو التكنولوجيا. وعلى الرغم من أن التركيز في العلم ينصب على الفهم، بينما ينصب على التطبيق في التكنولوجيا، فإن كلاً من الفهم والتطبيق يعزز وييسر من الآخر بوضوح. ولهذا السبب، فإن المجتمعات ذات التوجهات الواقعية مستعدة لإنفاق مبالغ كبيرة من المال على المساعي العلمية، مع أن فضول العقل البشري الذي لا يكون مرتبطًا تقريبًا بموضوع البحث هو ما يميز العلم.

إن أي كتاب يتناول شرح العلوم الفيزيائية أو الطبيعية أو الاجتماعية يتضمن وصفًا «للمنهج العلمي»، الذي من المفترض أن يكون أسلوبًا فعالًا في اكتشاف أو التحقق من المعلومات أو النظريات العلمية، وفي حل جميع أنواع المشكلات العلمية والبشرية. ويمكن إيجاز خطوات المنهج العلمي كالآتي: (١) جمع الحقائق أو

البيانات. (٢) تحليل الحقائق والبيانات في ضوء المبادئ المعروفة والمطبقة. (٣) صياغة الفرضيات التي ستفسر الحقائق؛ لا بد أن تكون تلك الفرضيات متسقة مع المبادئ القائمة قدر الإمكان. (٤) استخدام الفرضيات للتنبؤ بحقائق أو نتائج أخرى يمكن أن تستخدم لاختبار صحة الفرضيات إلى حد أبعد من خلال زيادة مخزون الحقائق في الخطوة (١). ويتم تكرار هذه السلسلة من الخطوات بترتيب منظم كلما كان ذلك ضروريًّا لإرساء إحدى الفرضيات التي تم التأكد من صحتها. ويتسم المنهج العلمي بقابلية التعديل والتصحيح الذاتي، بمعنى أن الفرضيات معرضة للتعديل دائمًا في ضوء الحقائق المكتشفة مؤخرًا. فإذا كانت الفرضيات صحيحة في كل تفاصيلها، فلا داعي إذن للتعديل.

مع أن الخطوات السابقة تمثل الأسلوب النموذجي للبحث العلمي، فإن ممارسي «فن» البحث العلمي قد لا يتبعون هذا الأسلوب في الواقع، حتى في الفيزياء. وغالبًا ما يلعب الحس الباطني أو الحدس دورًا مميزًا. ومن المهم جدًّا أن يكون الإنسان قادرًا على طرح الأسئلة الصحيحة والمهمة في الوقت المناسب، وإيجاد الإجابات الخاصة بهذه الأسئلة. وأحيانًا يكون من الضروري إهمال الحقائق المزعومة، إما لأنها ليست حقائق فعلًا، أو أنها غير مناسبة أو غير متسقة (أحيانًا مع مفهوم سابق)، أو تحجب حقائق أخرى أكثر أهمية، أو تزيد الموقف تعقيدًا. فمثلًا، يقال إن أينشتاين سئل ذات مرة عما كان سيفعل لو أن تجربة مايكلسون ومورلي الشهيرة (الفصل السادس) لم تؤكد ثبات سرعة الضوء، كما تتطلب نظرية النسبية. جاءت إجابة أينشتاين بأنه كان سيهمل مثل هذه النتيجة التجريبية، لأنه كان قد استنتج بالفعل أن سرعة الضوء لا بد وأن تكون ثابتة.

وغالبًا ما يلعب حظ الصدفة — الذي يدعى أحيانًا السرنديبية* Serendipity — دورًا إما في الكشف عن قدر هام من المعلومات أو في الكشف عن حل بسيط. هكذا كان الحال في اكتشاف فيلهيلم رونتجن Wilhelm Roentgen لأشعة إكس. (من المثير للغاية أنه اتبع المنهج العلمي النموذجي بدقة بالغة في استكمال دراسته لطبيعة أشعة إكس، حيث كشف النقاب عن العديد من السمات المميزة، لكنه في النهاية توصل إلى استنتاج خاطئ.)

*اكتشاف الأشياء النفيسة والثمينة بالصدفة. (المترجمان)

وختامًا، وعلى الرغم من الغموض والتناقض اللذين يحيطان بالعلماء عند تطبيق كل منهم لطريقته، فإنه لا بد من الوفاء بمتطلبات المنهج العلمي المذكورة آنفًا. أما النظرية العلمية التي لا تتفق مع التجربة، فلا بد من تعديلها في النهاية على نحو مرضٍ أو استبعادها. بالمثل، فإن كل نظرية، مهما كان واضعها متميزًا، لا بد لها أن تفي بالمتطلبات المذكورة للمنهج العلمي. لا بد من تكرار التجارب في ظل ظروف مختلفة وعلى أيدي أشخاص مختلفين. ولا بد أيضًا أن تكون النتائج متسقة مع بعضها ومع النتائج الأخرى. ولا بد للفرضيات أن تكون مدعومة بالبراهين. أما القيام بما هو أقل من ذلك، فسيؤدي في النهاية إلى علم زائف وخداع.

إن الدراسة المتعمقة للعلم تحقق القوة، بالمفهوم الواسع والمفهوم العملي والواقعي والمفصل على حدٍ سواء. وتتسم القوة الناتجة بأنها هائلة إلى حد يثير الاهتمام بعدم استخدامها في تدمير الذات بدلًا من الاستفادة منها في تحقيق منافع للبشر. يقدم العلم كذلك نظرة وفهمًا متعمقًا لأعمال الطبيعة. فهناك قدر من التطابق والمنطقية في العالم المادي يبعث على الشعور بالدهشة. ولن تكشف المادة التي ستقدم في الفصول التالية من هذا الكتاب عن الكثير من قوة الفيزياء، فبدلًا من ذلك، نأمل أن يكوِّن القارئ فكرة عن جمال وبساطة وتناغم وعظمة بعض القوانين الأساسية التي تحكم العالم. كما نأمل أن يأسر الكتاب ويشبع مخيلة القارئ. وباستخدام مصطلحات التشبيه السيمفوني مرة أخرى، حان الوقت لإنهاء مقطوعة الاستهلال من أجل الاستمتاع بالحركة الأولى في السيمفونية العلمية.

الفصل الثاني

علم الفلك الكوبرنيكي

الأرض ليست مركز العالم



نيكولاوس كوبرنيكوس
(الصورة مهداة من مرصد بيركس، جامعة شيكاغو).

ثمة اعتقاد عام بأن الأرض كوكب يدور حول الشمس في مسار دائري تقريبًا، وأن القمر يدور حول الأرض بالطريقة نفسها. وفي الحقيقة، فإننا — في «عصر الفضاء» الحالي — ننظر إلى القمر كتابع طبيعي للأرض لا يختلف في حركته عن

العدد الهائل من الأقمار الصناعية التي أطلقت من الأرض منذ عام ١٩٥٨. وتعد الرحلات التي تتم إلى القمر حقيقة مؤكدة، كما أن رحلات الفضاء من وإلى الكواكب البعيدة — بل وحتى المجرات — صارت أمرًا مألوفًا في خيال العامة وفي أفلام السينما وعلى شاشات التليفزيون. ومع ذلك، فمنذ أربعة أو خمسة قرون، كان أي شخص يجرؤ على الحديث عن مثل هذه الأفكار يعتبر مختلًّا إن لم يكن مهرطقًا. وفي الحقيقة، فإن إدراكنا للأمور يجعلنا نعتقد بأن الأرض لا تتحرك، وأن الشمس وكل الأجرام السماوية هي التي تتحرك في مسارات دائرية حول الأرض الثابتة.

مع مرور كل أربع وعشرين ساعة، يسطع كل من الشمس والقمر والكواكب والنجوم من جهة الشرق لتجتاز السماء وتدلُك في الغرب، حيث تتوارى عن الأنظار عددًا من الساعات قبل أن تظهر ثانية. ومنذ بضعة قرون فقط، كانت المعرفة المتاحة بأكملها للحضارة الغربية تشير إلى أن الأرض ثابتة ومتمركزة في مركز العالم. وسنعرض في هذا الفصل تطور نموذج مركزية الأرض بالنسبة للكون، ثم الإطاحة به واستبداله بالمفاهيم الحديثة، وهو ما يكشف الكثير حول تطور وطبيعة التفكير العلمي.

الأنشطة العلمية المبكرة في منطقة البحر المتوسط

من الصعب تتبع الأصول الخاصة بعلوم الغرب. ولتحقيق أهدافنا، يكفي أن نشير إلى بعض المصادر والدوافع المعترف بها عمومًا. وربما يأتي في المقام الأول ذلك الميل الإغريقي للتجريد والتعميم. وبالطبع تأثر الإغريق كثيرًا من احتكاكهم التجاري والحربي مع حضارات ما بين النهرين والحضارة المصرية. وقد تمكنت هذه الثقافات من تجميع كم هائل من البيانات الفلكية بالغة الدقة، كما طورت بعض الأساليب الرياضية لاستخدام هذه البيانات في التجارة ومسح الأراضي والهندسة المدنية والملاحة، وتحديد التقويمات المدنية والدينية. وبمعلومية التقويم، يكون من الممكن تحديد وقت زراعة المحاصيل، والفصول المناسبة للتجارة أو لخوض غمار الحرب، وكذلك أوقات إقامة المهرجانات والطقوس. ولكن التقويم نفسه يتحدد وفقًا لأوضاع الأجرام السماوية. (فمثلًا، في نصف الكرة الشمالي، تكون الشمس مرتفعة وناحية الشمال في الصيف، بينما تكون منخفضة وناحية الجنوب في الشتاء.) وقد اكتشفت الثقافات القديمة — وبعض الثقافات الأكثر حداثة — دلائل مهمة على المستقبل في صورة «إشارات» أو بشائر ترى في السماء. (وعلى مستوى أكثر واقعية، عندما يكون

البحارة بعيدين عن الأرض، فإنهم يستطيعون الإبحار عن طريق قياس موضع الأجرام السماوية المعروفة المختلفة.)

وعمومًا، لم تكن الحضارات القديمة تميز بوضوح بين الأمور الدنيوية والدينية الشائعة في المجتمع الغربي الحديث، لذا فقد وجدوا بالطبع أن هناك روابط بين جميع جوانب المساعي والمعرفة البشرية؛ علم الأساطير والدين؛ علم الفلك وعلم التنجيم وعلم الكون. وبالنسبة للحضارة الغربية، ربما يكون تطور علم التوحيد الأخلاقي على يد الإسرائيليين القدماء، إضافةً إلى بحث الإغريق عن أساس عقلاني يفسر السلوك البشري، قد ساعد في حث الفلاسفة على محاولة توحيد كل فروع المعرفة.

وقد أكد الفلاسفة الإغريق سقراط وأفلاطون وأرسطو على ضرورة ممارسة السيطرة على الحضارات والأمم بحكمة وتبعًا لأسمى المبادئ الأخلاقية. وقد تطلب ذلك فهمًا ومعرفة بالفضائل. وكان المتطلب الرئيسي لفهم الفضائل هو فهم العلم — الحساب والهندسة والفلك والهندسة الفراغية. ولم يكن كافيًا الحصول على الخبرة في هذه الموضوعات، بل كان من الضروري كذلك فهم طبيعتها الأساسية وعلاقتها بالفضائل. ولم يمكن تحقيق هذا الفهم ممكنًا إلا بعد دراسة شاقة وطويلة. فكان أفلاطون، مثلًا، يشعر أن المرء لا يمكن أن يدرك الطبيعة الأساسية لمثل هذه الموضوعات دون أن يجيد تفاصيلها واستخداماتها إجادة شاملة.

ووفقًا للتقاليد، فقد تحقق الاعتراف بالرياضيات كموضوع يستحق الدراسة في حد ذاته، دون النظر إلى استخدامها في الأمور العملية، منذ ألفين وستمائة عام على يد الفيلسوف طاليس Thales الذي عاش على الساحل الآسيوي لبحر إيجه. وبعد مضي بعض الوقت أعلن أتباع فيثاغورس (الذين عاشوا في إحدى المستعمرات الإغريقية في إيطاليا) أن العالم كله محكوم بالأرقام. وكانت الأرقام التي أشاروا إليها أعدادًا صحيحة أو نسبًا لأعداد صحيحة. وكانوا يعتبرون أن جميع الأشياء تتكون من وحدات بناء منفردة، أطلقوا عليها ذرات. ولأن الذرات وحدات متمايزة، فإنه يمكن عدها — مما يعني في رأي الفيثاغورسيين أنه يمكن اعتبار الهندسة فرعًا من الحساب.

ومع ذلك، سرعان ما اتضح أن هناك أعدادًا، مثل π (ط أو النسبة التقريبية) و$\sqrt{٢}$ لا يمكن التعبير عنها كنسب لأعداد صحيحة. ولذلك، سميت هذه الأعداد «أعدادًا صماء» Irrational Numbers، إلا أن ذلك قد تسبب في مشكلة، لأنه يعني أن عددًا كبيرًا من المثلثات لا يمكن بناؤها من الذرات، فالمثلث متساوي الساقين، مثلًا، يمكن

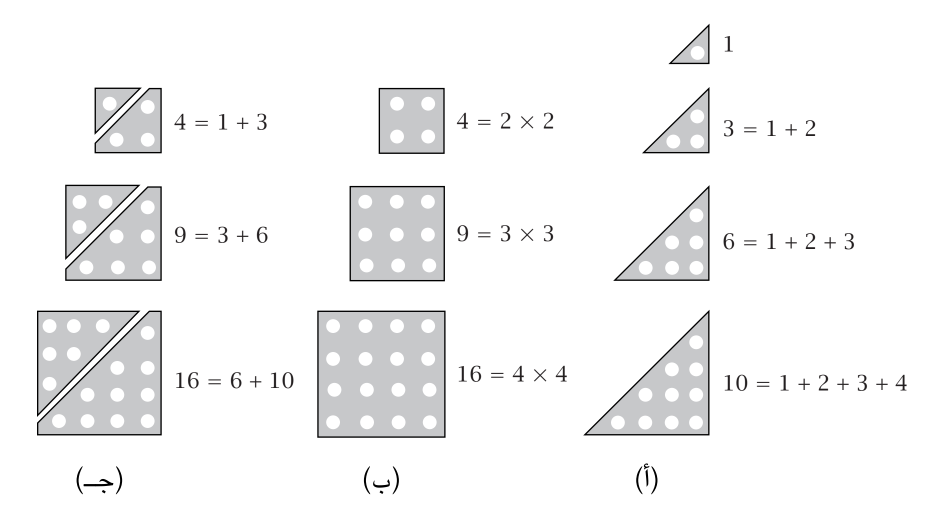
أن يضم عددًا صحيحًا من الذرات على طول كل ضلع من أضلاعه. ويكون للوتر √٢ من الذرات، لكن ذلك مستحيل لأن √٢ من الأعداد الصماء، وكل عدد صحيح يضرب في √٢ سيصبح من الأعداد الصماء كذلك، وعليه، فهو لا يمكن أن يمثل عددًا صحيحًا من الذرات. ويذكر أن الفيثاغورسيين اكتشفوا أن وجود الأعداد الصماء يسبب لهم إزعاجًا، فحاولوا إبقاءها طي الكتمان.*

وعلى الرغم من ذلك، كان من الممكن تكوين روابط بين الحساب والهندسة من خلال المعادلات، مثل نظرية فيثاغورس التي تربط الأضلاع الثلاثة في المثلث قائم الزاوية ($A^2 + B^2 = C^2$)، أو بين المحيط ونصف قطر الدائرة ($C = 2\pi r$)، أو بين مساحة الدائرة ونصف قطرها ($A = \pi r^2$)، وهكذا. وكان من الممكن ترتيب بعض الأعداد في صورة أنساق هندسية، واكتشاف العلاقات بين هذه الأنساق. وقد بينا هذا الأمر في الشكل ٢-١، الذي استخدمت فيه الدوائر لتمثيل الأعداد. ويبين شكل ٢-١(أ) الأعداد «المثلثية» مثل: ١، ٣، ٦، ١٠. بينما يبين شكل ٢-١(ب) الأعداد «التربيعية» ٤، ٩، ١٦. واتحاد عددين متتاليين من الأعداد المثلثية يعطي عددًا تربيعيًّا، كما هو مبين في الشكل ٢-١(جـ). ويقال إن الفيثاغورسيين كانوا يعتقدون بشدة في أهمية الرياضيات لدرجة أنهم أسسوا عبادة دينية قائمة على الأعداد.

لم يكن تخصيص أهمية للأعداد قاصرًا على الإغريق. فتبعًا لمذهب الكابالا اليهودي، يمكن اكتشاف المعنى الأعمق لبعض الكلمات وذلك بجمع الأعداد المرتبطة بالحروف المكونة لها، وسيكون المجموع الناتج معبرًا عن دلالة معينة وغير واضحة للكلمة. وفي هذه الأيام، هناك أرقام «حظ» وأرقام «شؤم» مثل العددين ٧ و١٣. وتقوم ألعاب الورق والمراهنات على الأعداد. وبعض المباني ليس بها الطابق الثالث عشر، حتى لو كان بها الطابقين الثاني عشر والرابع عشر. وفي الفيزياء النووية، يشار إلى الأعداد السحرية، بمعنى أن الأنوية التي تحتوي على أعداد معينة من البروتونات أو النيوترونات تكون مستقرة بشكل واضح وتعتبر أعدادها «سحرية».

---

*لو أن √٢ يساوي بالضبط ١٫٤، لكان سيساوي النسبة بين عددين صحيحين هما: ١٤ و١٠، أي ١٤ / ١٠. وإذا كان الأمر كذلك، فإن المثلث قائم الزاوية متساوي الساقين الذي يحتوي على عشر ذرات على ضلعيه، لا بد وأن يكون له أربع عشرة ذرة على الوتر. ولكن √٢ أكبر قليلًا من ١٤ / ١٠، وبذا لا بد أن يكون للمثلث أكثر من أربع عشرة ذرة (وأقل من خمس عشرة ذرة) على الوتر. ومن المستحيل إيجاد عددين صحيحين نسبتهما تساوي √٢ تمامًا، وطبعًا ستختفي هذه المشكلة إذا استبعدنا الفرض القائل بأن الذرات تمثل أساس الهندسة. وقد يكون ذلك أحد الأسباب وراء عدم تطوير الإغريق مفهوم الذرات بصورة جدية. وقد ظل هذا المفهوم ثابتًا لا يتطور لمدة حوالي ألفي عام.

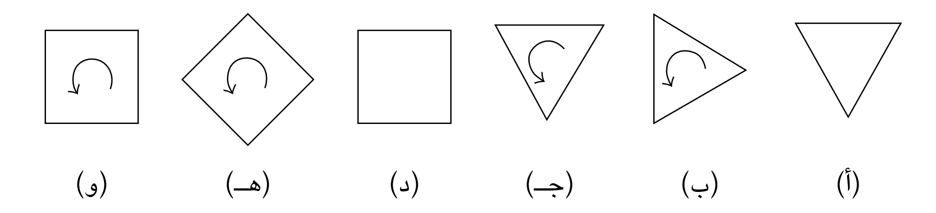


شكل ٢-١: الأعداد المثلثية والتربيعية. (أ) الأعداد المثلثية كترتيبات لعناصر منفردة. (ب) الأعداد التربيعية كترتيبات لعناصر منفردة. (جـ) الأعداد التربيعية الناتجة عن اتحاد عددين مثلثيين متتاليين، حيث يقلب المثلث الأول لينطبق على المثلث الثاني.

وفي الفيزياء الذرية، بذلت الجهود خلال فترة ما لإيجاد المغزى وراء أن قيمة ما يسمى ثابت البنية الدقيقة تساوي بالضبط ١ /١٣٧.

كان الإغريق القدماء كذلك مفتونين بالأشكال الهندسية المنتظمة والمتعددة، حيث طوروا تسلسلًا هرميًّا لترتيب هذه الأشكال. فمثلًا، يمكن اعتبار أن المربع يمثل درجة أعلى في الكمال عن المثلث متساوي الأضلاع. فإذا أدرنا مربعًا حول مركزه بمقدار ٩٠ درجة، فإن شكله لن يتغير (راجع الشكل ٢-٢). أما المثلث المتساوي الأضلاع، فلا بد من إدارته ١٢٠ درجة ليستعيد شكله السابق. ويحتاج الشكل السداسي إلى الدوران ٦٠ درجة فقط ليحتفظ بشكله. أما الشكل الثماني، فيحتاج إلى الدوران ٤٥ درجة فقط، والشكل ذو الاثني عشر ضلعًا يحتاج إلى الدوران ٣٠ درجة فقط.

وكلما زاد عدد أضلاع الشكل المنتظم، قلت الزاوية التي يحتاجها للدوران حتى يستعيد شكله الأصلي. وفي ضوء هذا المفهوم، يزداد كمال الشكل كلما ازداد عدد أضلاعه. وكلما زاد عدد الأضلاع اقترب الشكل أكثر فأكثر من مظهر الدائرة، ولذا من الطبيعي أن ينظر إلى الدائرة على أنها أكثر الأشكال المستوية (أو ثنائية البعد) التي يمكن رسمها كمالًا. فمهما أدرنا الدائرة قليلًا أو كثيرًا حول مركزها، فسيظل شكلها الأصلي ثابتًا. ومن المهم ملاحظة أن الكمال يتحدد بالثبات — فالشيء الكامل



شكل ٢-٢: الأعداد الهندسية والتماثل. (أ) مثلث متساوي الأضلاع. (ب) دوران المثلث ٩٠°. (جـ) دوران المثلث ١٢٠° من وضعه الأصلي إلى وضع جديد لا يمكن تمييزه عن الوضع الأصلي. (د) مربع. (هـ) دوران المربع ٤٥°. (و) دوران المربع ٩٠° من وضعه الأصلي إلى وضع جديد لا يمكن تمييزه عن الوضع الأصلي.

لا يمكن تحسينه، ولذا لا بد أن يظل ثابتًا. ويصف الكتاب الرائع «الأرض المسطحة» Flatland الذي كتبه إدوين أبوت عالمًا خياليًّا ذا بعدين تسكنه أشكال ثنائية البعد تتحدد هويتها من خلال أشكالها. فالنساء مثلًا، أكثر الكائنات قدرة على إحداث الدمار، يعبر عنها باستخدام خطوط مستقيمة، وبالتالي، فهي قادرة على الإصابة بجروح قاتلة، تمامًا كالسيف مستدق الرأس ذي الحدين. وتبعًا لنموذج الكمال الإغريقي، تعبر الدائرة الكاملة عن أكثر الرجال حكمة.

ساعد اهتمام الإغريق بالكمال والهندسة في التمهيد لطريقة تناولهم للعلوم. ويتضح هذا الأمر بالتحديد في رواية أفلاطون الشهيرة «الكهف». ففي هذه الرواية، تخيل أفلاطون (٣٤٧–٤٢٧ق.م) البشر على شكل عبيد مسلسلين معًا في كهف عميق مظلم به يصله ضوء خافت من نار بعيدة مشتعلة خلفهم وفوقهم. وهناك حائط وراءهم وحائط من أمامهم. وكانت أغلالهم وأصفادهم تمنعهم من الالتفات لرؤية ما يحدث خلفهم. وكان بعض الناس يتحركون جيئة وذهابًا على الجانب الآخر من الحائط الذي يقع خلفهم وهم يحملون أشياء مختلفة فوق رءوسهم ويصدرون أصواتًا وضجيجًا مبهمًا غير مفهوم للعبيد. ولا يستطيع العبيد رؤية أي شيء إلا ظلالًا لهذه الأشياء التي يلقي بها ضوء النار على الحائط أمامهم، أو سماع أي شيء سوى الأصوات الخافتة التي تنعكس على الحائط من أمامهم. لم يشاهد العبيد سوى هذه الظلال طوال حياتهم، وبالتالي، فهم لا يعرفون أي شيء آخر.

في أحد الأيام، تحرر أحد العبيد (الذي سيصبح فيما بعد فيلسوفًا) من أغلاله، وانطلق خارجًا من الكهف إلى العالم الواقعي المضيء والجميل، بعشبه وأشجاره الخضراء وسمائه الزرقاء، وغير ذلك من الأشياء الأخرى. لم يكن هذا العبد قادرًا في

البداية على استيعاب ما يراه لأن عينيه لم تعتادا على الضوء الساطع. وفي الواقع، كان تأمل العالم الواقعي في البداية أمرًا شاقًا، إلا أن العبد السابق اعتاد في النهاية على هذه الحرية الجديدة. وعلى الرغم من أنه لم تكن لديه رغبة في العودة إلى الحالة البائسة التي كان يعيشها من قبل، فإن الواجب يحتم عليه العودة إلى الكهف ليحاول تنوير رفاقه. وليست هذه بالمهمة السهلة، لأن عليه أن يعتاد ثانية على الظلام، وأن يفسر الظلال باستخدام أشياء لم يرها العبيد الآخرون أبدًا. ولكن العبيد يرفضون جهوده، وجهود كل من على شاكلته من الآخرين، مهددين إياهم بالموت إذا هم أصروا على ذلك (كما حُكم بالفعل على سقراط معلم أفلاطون). وعلى الرغم من ذلك، أصر أفلاطون على أن الواجب يستلزم المثابرة من جانب على الرغم من أي تهديدات أو عواقب.

تتمثل أولى المهام المفروضة على الفيلسوف في تحديد الواقع، أو الحقيقة، وراء الطريقة التي تظهر بها الأشياء. وقد أشار أفلاطون كمثال على ذلك إلى المظهر الخارجي للسماوات التي هي موضوع علم الفلك. فالشمس تشرق وتغرب يوميًّا، كما هو الحال بالنسبة للقمر؛ ويمر القمر بأطوار كل شهر تقريبًا. كذلك، تكون الشمس أعلى في الصيف منها في الشتاء، بينما تظهر نجوم الصباح المساء وتختفي. تلك هي «المظاهر الخارجية» للسماوات، لكن الفيلسوف (العالم في العصر الحالي) لا بد أن يكتشف الواقع الحقيقي وراء هذه المظاهر: ما الذي يتسبب في مسارات النجوم في السماء؟ ووفقًا لأفلاطون، فإن الواقع الحقيقي لا بد أن يكون كاملًا أو مثاليًا، ولا بد للفيلسوف أن يضع الرياضيات، وبالتحديد الهندسة، نصب عينيه ليكتشف الواقع الحقيقي لعلم الفلك.

تبدو معظم الأجرام في السماء، مثل النجوم، كأنها تتحرك في مسارات دائرية حول الأرض كمركز لها، ومن المثير أن نستنتج أن طبيعة الحركة الحقيقية للأجرام السماوية لا بد أن تكون دائرية، لأن الدائرة تمثل أكثر الأشكال الهندسية كمالًا. ولا يهم إذا كانت جميع الأجرام السماوية تبدو وكأنها تتحرك في مسارات دائرية أم لا، فمع كل هذا، يمكن للبشر تصور ظلال الواقع الحقيقي فحسب. ومهمة الفيلسوف (أو العالِم) أن يبين كيف أن تصورات البشر تشوه طبيعة الحركة الحقيقية التامة للأجرام السماوية. وقد أوضح أفلاطون أن مهمة علم الفلك هي اكتشاف الطريقة التي يمكن بها وصف حركة الأجرام السماوية بمدلول الحركة الدائرية. وقد أطلق على هذه المهمة «إنقاذ المظاهر». أما هدف اكتشاف الواقع الحقيقي، فما زال من الأهداف الرئيسية للعلم، ولو أن تعريف الواقع الحقيقي الآن يختلف إلى حد ما عن تعريف



شكل ٢-٣: تعرض الصورة فترة من الزمن للسماء ليلًا، فريتس جورو، مجلة «لايف» Life Magazine.

أفلاطون. وقد أثر هذا الهدف بشدة في الطريقة التي يتم من خلالها مواجهة المشكلات العلمية. وفي بعض الحالات، أدى ذلك إلى التوصل لآراء ثاقبة، وفي حالات أخرى، عندما بُحث الأمر حرفيًّا أكثر مما ينبغي، شكل ذلك عائقًا كبيرًا أمام تقدم العلم.

نظرية مركزية الأرض في الكون

إذا التقطنا صورة بالتعريض الزمني للسماء ليلًا على مدى فترة تصل إلى بضع ساعات، فإن النتيجة ستكون كما في الشكل ٢-٣. وأثناء هذا الوقت كان غالق الكاميرا مفتوحًا، وكانت مواقع النجوم المختلفة في السماء تتغير، وقد تم تتبع مسارات حركاتها الظاهرية بواسطة خطوط على شكل أقواس، تمامًا مثل صور شارع في مدينة ليلًا حيث تظهر خطوط الضوء من المصابيح الأمامية للسيارات المارة. فإذا تركت فتحة العدسة مفتوحة على مدى أربع وعشرين ساعة (وإذا أمكن بشكل ما «إطفاء» الشمس)، فإن الكثير من الخطوط، وبالتحديد بالقرب من النجم القطبي، ستصبح دوائر كاملة. ولأنه لا يمكن إطفاء الشمس، فإن الصورة تلتقط فقط أثناء ساعات الإظلام، وبذلك لا نحصل إلا على جزء فقط من الدوائر الكاملة، مساوٍ للجزء من الساعات الأربع والعشرين الذي كانت الكاميرا مفتوحة أثناءه. وإذا

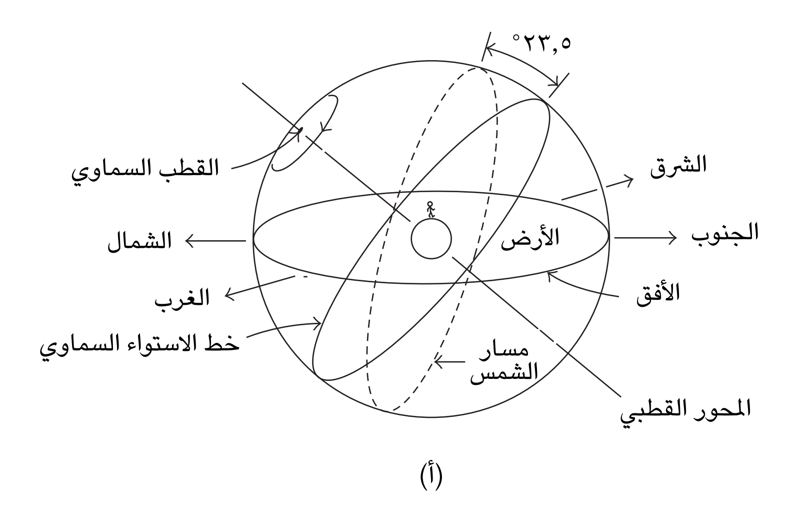
التقطت الصورة ليلة بعد أخرى فستكون الصورة تقريبًا هي نفسها، مع بضعة استثناءات سنناقشها فيما بعد.

ويبدو أن الأرض محاطة بسقف أو قبة كروية عملاقة، تسمى الكرة النجمية أو الكرة السماوية، وتبدو النجوم كنقاط مضيئة صغيرة مثبتة في تلك القبة (شكل ٢-٤(أ)) وتدور القبة حولنا مرة كل أربع وعشرين ساعة من الشرق إلى الغرب (من الشروق إلى الغروب). كما أن الشمس والقمر والكواكب هي الأخرى مثبتة على هذه الكرة. وطبيعي أنه إذا كانت الشمس مشرقة فإننا لا نستطيع رؤية النجوم لأن ضوء الشمس الساطع، الذي يتشتت بواسطة الغلاف الجوي للأرض، يجعل من المستحيل رؤية ضوء النجوم الواهي. (وأثناء كسوف الشمس، من الممكن رؤية النجوم بشكل جيد).

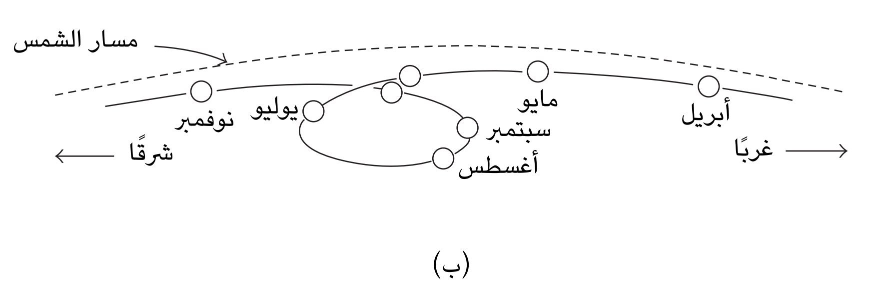
وبواسطة المراقبة بصبر والقياس، كان قدماء الفلكيين والمنجمين، الذين لم يكن لديهم أجهزة تصوير، قادرين على مشاهدة ورصد مسارات الدوران اليومي الذي يسمى الدوران اليومي Diurnal Rotation أو الحركة اليومية Diurnal Motion للكرة السماوية. وكانوا قادرين على تحديد أن كل الأجرام السماوية، ما عدا استثناءات قليلة، مثبتة في مواقعها على الكرة السماوية الدوارة. وبمرور الوقت تعرفوا على أن الأرض نفسها كروية هي الأخرى، وتظهر بمواقعها في مركز الكرة السماوية. ويعتمد الجزء من الكرة السماوية الذي يمكن رؤيته على نقطة المشاهدة على الأرض. وعند القطب الشمالي للأرض ستكون مراكز الدوائر مباشرة فوق الرءوس. وعند خط عرض ٤٥ درجة، سيكون القطب السماوي (مراكز الدوائر) بزاوية ٤٥ من الأفق الشمالي (في نصف الكرة الشمالي)، بينما على خط الاستواء سيكون القطب السماوي عند الأفق الشمالي.

وفي السابق اعترفوا بأن بضعة أجرام معينة على الكرة السماوية لم تكن مثبتة، بدت هذه الأجرام وكأنها تتحرك بالنسبة إلى خلفية النجوم. وموقع الشمس، مثلًا، على الكرة يتغير على مدار السنة، وهي تتبع مسارًا يسمى بيضاويًّا، كما هو مبين في شكل ٢-٤(أ) على شكل دائرة منقطة تميل بزاوية ٢٣٫٥ درجة على خط الاستواء السماوي. واتجاه حركة الشمس من الغرب إلى الشرق (عكس الدوران اليومي.)*

*لا يتعارض ذلك مع الملاحظة العامة الشائعة أن الشمس تنتقل من الشرق إلى الغرب، لكنه يعني ببساطة أن شروق الشمس دائمًا يتأخر قليلًا مقارنة «بشروق النجوم»؛ لأن موقع الشمس على الكرة السماوية قد تغير.



(أ)



(ب)

شكل ٢-٤: الكرة السماوية. (أ) رسم تخطيطي للكرة يبين الأرض في المركز والمدار البيضاوي. (ب) منظر مكبر جدًّا لجزء من مسار كوكب على طول المدار البيضاوي، يبين الحركة التراجعية.

كذلك يتغير موقع القمر، وهو ينتقل من الغرب إلى الشرق على المدار البيضاوي مرة كل ٢٧,٣٣ يومًا في المتوسط. وبالمثل، تتحرك الكواكب التي ترى بالعين المجردة: عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل، فهي تنتقل تقريبًا على مسار بيضاوي، من الغرب إلى الشرق، مستغرقة من تسعين يومًا إلى ثلاثين عامًا لتكمل الدائرة.

وتسمى حركة الشمس بالحركة السنوية، وهي على الأغلب ناعمة ومنتظمة، لكن ليس تمامًا. وحركة القمر إلى حد ما هي الأخرى ناعمة، لكنها أقل نعومة من حركة الشمس. أما حركة الكواكب من جهة أخري، فهي متنوعة في سرعتها، وفي بعض الأحيان في اتجاهها كذلك. وفي الحقيقة، فإن هذا هو مصدر كلمة كوكب Planet، الذي يعني الهائم (أو التائه أو الطواف). وعندما يغير كوكب ما من اتجاه

حركته أحيانًا، فإنه يبدو وكأنه يتحرك من الشرق إلى الغرب بالنسبة للنجوم الثابتة بدلًا من اتباع مساره العام من الغرب إلى الشرق. وتسمى هذه الحركة تراجعية Retrograde، وهي مصورة في شكل ٢-٤(ب)، الذي يبين مسار كوكب لا يغير فقط من اتجاهه ولكنه يهيم قليلًا مبتعدًا عن المدار البيضاوي كذلك. ويرافق الحركة التراجعية تغيرات في درجة سطوع الكوكب.

وفي بعض الأوقات يكون الكوكب أمام الشمس (سابقًا لها) على المدار البيضاوي، وفي أوقات أخرى يكون خلفها. وتسمى هذه الحركة التبادلية Alternate. فإذا كان الكوكب مباشرة إلى الغرب من الشمس، فإن الدوران اليومي سيأتي به إلى مجال رؤيتنا كنجم الصباح، أما إذا كان مباشرة إلى الشرق من الشمس، فإنه سيُرى كنجم المساء مباشرة بعد غروب الشمس. (كانت الشمس والقمر يعتبران من الكواكب، إلا أنهما لم يظهرا حركة تراجعية، أو الدرجة نفسها من تغيرات السرعة التي تبديها الكواكب الأخرى. وفي هذا الكتاب لا تسري كلمة كوكب على الشمس أو القمر.) ونظرًا لسرعات الكواكب المتغيرة، يظهر في بعض الأوقات كوكبان متقاربان جدًّا، وهو حدث يسمى أحيانًا الاقتران Conjunction. وقد أبدى المنجمون والعرافون القدماء الذين كانوا يبحثون عن إشارات في السماوات اهتمامًا ومنحوا مغزى كبيرًا للاقتران كنذير لحدث أو أمر خطير للبشر. وكان من الأندر (ونذيرًا أكثر) الاقتران المزدوج، عندما يظهر ثلاثة كواكب متقاربة. (ولكلمة اقتران معنى مختلف في الاستخدام الفلكي الحالي، ومناقشة ذلك تقع خارج مجال هذا الكتاب.)

وعلى مدى قرون، أبدت الحضارات الكبرى اهتمامًا كثيرًا بمظهر السماوات. وقد استخدمت مشاهد السماوات تلك في صياغة تقاويم ضرورية للحكم في الإمبراطوريات الشاسعة، ولتسجيل الأحداث الهامة في العلاقات البشرية. كذلك كانت هذه المشاهد هامة في السفر إلى أماكن بعيدة، لأن الملاحين استطاعوا تحديد مواقعهم بواسطة مشهد السماوات في مواقعهم الخاصة. وفي الحقيقة، لعبت الحسابات واستخدام الجداول الملاحية الدقيقة دورًا هامًّا في استكشاف العالم بواسطة الأمم البحرية، وكذلك في قدرتها على الإقدام على المغامرات التجارية وإرسال البعثات الحربية. وحتى القرون القليلة الأخيرة، كان للتنبؤات التنجيمية القائمة على مشاهد السماوات عمومًا أو على بعض الأحداث غير العادية مثل الاقتران أو ظهور مذنب أو مستعر أعظم؛ كان لها تأثير واسع النطاق على صناعة القرار السياسي، وما زالت الأبراج لها شعبية غريبة.

أسس البابليون واحدة من أعظم حضارات بلاد ما بين النهرين. وقد قام الفلكيون عندهم بقياسات وحسابات للمشاهد السماوية. وكانوا معنيين أكثر بالدقة والثقة في قياساتهم الفلكية وفي تنبؤاتهم، أكثر من تطوير فهم الإجابة عن أسئلة لماذا، ومن أجل أي شيء يقوم العالَم بعمله.

والإغريق على الرغم من اهتمامهم بالدقة والثقة في معرفة السماوات، لم يطوروا القياسات البابلية بشكل مؤثر. وقد جاءت مساهمات الإغريق في علم الفلك من اهتمامهم بالمناطق التي يمكن أن يوجد بها الكمال، لأن الطبيعة الحقيقية للسماوات هي الكمال. وقد شعروا أن مشاهد السماوات يجب أن تفهم بمدلول الكمال الكامن فيها والمستقر. فالشمس والقمر يبدو أن لهما شكلًا «تامًّا» — دائريًّا. كما أن حقيقة كون الحركة اليومية للنجوم تؤدي إلى حركة دائرية كانت ملائمة؛ لأن الدائرة تمثل الشكل التام، كما رأينا من قبل.

وعلى الرغم من أن تفاصيل حركة الكواكب بدت أبعد من أن تكون ناعمة ودائرية، فإنه في المتوسط كانت الحركة دائرية. لذلك كان من المؤكد أن الطبيعة الرئيسية لحركتها دائرية، أما البعد عن الحركة الدائرية الذي لوحظ فكان يمثل فقط ظلال الواقع الحقيقي كما يفهم من رواية أفلاطون «الكهف». أخذ الفلاسفة الإغريق دعوة أفلاطون «للحفاظ على المَشاهد» بجدية ليفسروا كل حركات الأجرام السماوية بمدلول الحركة الدائرية. وبالمصطلحات الحديثة، فقد تصدوا لتطوير نموذج للكون الذي يمكن أن يفسر كيف «يعمل في الواقع».

كثير من الحضارات القديمة طورت نماذج للعالم. فكان المصريون يعتقدون أن العالم مثل صندوق مستطيل طويل، والأرض محدبة قليلًا وتستقر على قاع الصندوق، بينما السماء سقف حديدي مقوس قليلًا ومعلق فيها مصابيح. وهناك أربع قمم للجبال تحمل هذا السقف، وتصل بينها وصلات من الجبال، ويجري خلفها نهر عظيم، وكانت الشمس إلهًا يسافر في قارب خلال هذا النهر، ولا يمكن رؤيته إلا في ساعات ضوء النهار.

أما النماذج التي كانت لدى الإغريق في وقت متأخر كثيرًا عن ذلك، فكانت أكثر تطورًا من هذا، وتعكس معرفة أكثر بشكل ملحوظ. إذ وضعوا في اعتبارهم نوعين من النماذج، نموذج مركزية الأرض أو وجود الأرض في المركز، ونموذج مركزية الشمس أو وجود الشمس في المركز. وفي نماذج مركزية الأرض كانت الأرض (بالإضافة إلى كونها مركز الكون) عادة ساكنة مستقرة. أما في نماذج مركزية الشمس، فكانت

الأرض تدور حول الشمس أو حول نار مركزية، مثل بقية الكواكب الأخرى، وكانت عادة تدور حول محورها الخاص. وعلى الأغلب كان الإغريق يفضلون نماذج مركزية الأرض ويرفضون نماذج مركزية الشمس.

وفي أحد أبسط نماذج مركزية الأرض، كانت الأرض كرة صغيرة بلا حركة ومحاطة بثمان كرات متحدة المركز دوارة تحمل القمر، والشمس، والزهرة، وعطارد، والمريخ، والمشتري، وزحل، والنجوم الثابتة على التوالي. ولأن الكرات كلها لها المركز نفسه، فإن هذا النموذج يدعى منتظم المركز homocentric. ويرافق هذه الكرات الثماني عدد من الكرات المساعدة الأخرى. (ينسب هذا النموذج إلى إيودوكسوس Eudoxus أحد تلاميذ أفلاطون، الذي أخذ على عاتقه تحدي معرفة الواقع الحقيقي.) كان لكل من القمر والشمس كرتان مساعدتان، وللكواكب ثلاث كرات مساعدة لكل منها. وبإحصاء الكرات السماوية، يصل عددها الكلي إلى سبع وعشرين كرة.

والغرض من الكرات المساعدة هو المساعدة في توليد الحركة المشاهدة. فمثلًا تدور الكرة التي تحمل القمر حول محور، طرفاه ملتصقان بالكرة الأكبر التي تحمل القمر حول محوره، طرفاه ملتصقان بالكرة الأكبر التالية، بحيث يمكن لمحور دوران كرة القمر نفسه أن يدور مع الكرة المساعدة. وبدوره يلتصق محور الكرة المساعدة بالكرة المساعدة التالية، التي تدور هي الأخرى. وبوضع هذه المحاور بزوايا مختلفة بعضها مع البعض، وتعديل سرعات الدوران للكرات، من الممكن توليد حركة الأجرام السماوية بحيث يدركها الملاحظ على الأرض، على خلفية النجوم الثابتة، وهي تتبع مسارًا ملائمًا على طول المدار البيضاوي.

وفي النسخ الأولى لهذا النموذج، كان السؤال حول كيفية وصول الكرات إلى حركاتها مهملًا. وكان المفترض ببساطة أن طبيعة الكرات التامة في السماوات أنها لا بد أن تدور. وكان الغرض من النموذج ببساطة أن يفسر عدم انتظام حركة الأجرام السماوية على أنها مرافقات لحركة دائرية منتظمة، وبذا «تحفظ المَشاهد» حتى إن أي شخص يبدي استغرابًا حول أسباب الحركة، فكان يقال إنها راجعة إلى «أسباب» مختلفة. وفي ذلك الوقت نحى الفلاسفة الإغريق جانبًا بشكل أو بآخر التفسيرات الأسطورية، مثل الآلهة التي تدفع عربة النار عبر السماء، وغيرها.

تبنى الفيلسوف العظيم أرسطو (٣٢٢–٣٨٤ق.م) النموذج منتظم المركز للعالم، وأضافه بتمكن ليتكامل مع المنظومة الفلسفية، مبينًا علاقته بالفيزياء والميتافيزيقيا. وقد اعتبر العالم كرويًّا وقسمه إلى «عالمين»: العالم الفلكي (أو السماوي)، والعالم

أسفل القمر Sublunar. كان العالم تحت القمري مكونًا من أربعة مواد أولية: الأرض والماء والهواء والنار. بينما كان العالم الفلكي يحتوي على المادة الخامسة، الأثير. كان لهذه المواد خصائصها الدفينة الموروثة. وتتحدد قوانين الفيزياء بالطبيعة الدفينة الموروثة لهذه المواد، ولذلك تختلف قوانين الفيزياء في العالم تحت القمري عن القوانين في العالم الفلكي. وكان فهم أرسطو للفيزياء مختلفًا تمامًا عن فهمنا للفيزياء اليوم، إلا أنها كانت مترابطة مع مجمل منظومة الفلسفة. (سنناقش مفهوم أرسطو في الفيزياء بالتفصيل في الفصل التالي).

لم يكن أرسطو مقتنعًا بالوصف البسيط لحركة الكواكب التي اقترحها يودوكسوس، لأنه في مخطط يودوكسوس كانت حركة المجموعات المختلفة للكرات مستقلة عن بعضها. وقد شعر أرسطو بالحاجة إلى ربط حركة الأجرام السماوية فيما بينها في منظومة واحدة شاملة، ولذا فقد أدخل كرات إضافية بين المجموعات المخصصة لكواكب معينة. فمثلًا، كان للكرة الخارجية المساعدة الأبعد في المجموعة التي تنتمي إلى زحل؛ محورًا ملتصقًا بكرة النجوم الثابتة. وعلى الكرة الداخلية لزحل كانت مجموعة من الكرات الإضافية ملتصقة بها، وكان يطلق عليها الكرات المضادة، وتتكون من ثلاث كرات كانت تدور بطريقة معينة بحيث تلاشى التفاصيل الدقيقة لحركة زحل. وعلى الكرة الداخلية من بين هذه الكرات المضادة كانت تلتصق الكرة المساعدة الخارجية التي تنتمي إلى المشتري. وبالمثل تم إدخال مجموعات من الكرات المضادة بين المشتري والمريخ، وهكذا.

كان عدد الكرات الكلي في مخطط أرسطو ستًّا وخمسين كرة. وكانت الكرة الخارجية تسمى المحرك الأول، لأن كل الكرات الأخرى كانت مربوطة إليها وتستمد حركتها منها. ولم يحدد أرسطو بالتفصيل كيف تنتقل الحركة في الحقيقة من كرة إلى أخرى. وفيما بعد افترض الكُتاب أنه بشكل أو بآخر كانت كل كرة تسحب الكرة التي تليها إلى الداخل مع بعض التفويت. وبعد العديد من القرون كانت تبنى نماذج عمل لتصوير هذه الحركة، مع استعمال التروس كضرورة لنقل الحركة.

وسرعان ما اعترفوا بوجود بعض الضعف في النظرية الهندسية البسيطة التي ناقشها أرسطو. فقد كان حجم القمر المقاس مثلًا، يتفاوت في حدود من ثمانية إلى عشرة بالمائة في الأوقات المختلفة للملاحظة. وبالمثل كانت الكواكب تختلف درجة سطوعها، بحيث تكون أكثر لمعانًا بالتحديد عند خضوعها للحركة التراجعية. كانت هذه الظواهر تفرض تغير المسافة بين الأرض والكواكب أو بين الأرض والقمر، إلا

أن ذلك مستحيل في المنظومة منتظمة المركز. ونتيجة لانتصارات الإسكندر الأكبر، كان الأكثر أهمية أن أصبح الإغريق على دراية بالكم العظيم من البيانات الفلكية التي تراكمت بواسطة البابليين تحديدًا. وقد اكتشفوا أن نموذج أرسطو لا يتوافق مع هذه البيانات. وبذا أصبح من الضروري تعديل نموذج أرسطو، الأمر الذي جرى على مدى عدد من مئات السنين.

كانت ذروة هذه التعديلات قد وقعت منذ حوالي ١٨٠٠ سنة، أي سنة ١٥٠ تقريبًا، عندما نشر الفلكي الهليني بطليموس في الإسكندرية بمصر، رسالة مستفيضة بعنوان: «التركيب العظيم» The Great Syntaxes، عن حسابات حركة الشمس والقمر والكواكب. ومع تدهور الدراسات الدنيوية الذي صاحب انهيار الإمبراطورية الرومانية، فقد هذا العمل مؤقتًا بواسطة العالم الغربي. إلا أنه كان قد ترجم إلى العربية وأعيد عرضه في نهاية المطاف في أوربا تحت عنوان الماجستي The Majestic—The Great—Almagest.

تخلى بطليموس عن محاولة أرسطو ربط حركات الشمس والقمر والكواكب ببعضها، رافضًا الفيزياء كأمر تخميني أكثر مما ينبغي. وقد شعر بأنه يكفي تطوير مخططات رياضية للحساب الدقيق للحركات السماوية دون إبداء الاهتمام بالأسباب. كانت الخاصية الوحيدة للحكم على جودة أو صحة مخطط معين للحسابات هو أنه لا بد أن يقدم نتائج مضبوطة، و«يحفظ المَشاهد» وكان من الضروري فعل ذلك لأن البيانات المتاحة قد بينت أن مشاهد السماوات كانت تتغير بالتدريج. وحتى يمكن إرساء التقاويم والجداول الملاحية، كان من المهم امتلاك حسابات دقيقة، دون النظر إلى كيفية تبرير الحسابات.

وهنا، استغل بطليموس عددًا من التصميمات (كما كانت تسمى التعديلات) التي اقترحها فلكيون آخرون، وكذلك بعض تصميماته الخاصة. ومع ذلك، فقد احتفظ بمفهوم الحركة الدائرية. ويبين شكل ٢-٥(أ) أحد هذه التصميمات، المنحرف المركز eccentric. ويعني ذلك ببساطة أن الكرة التي تحمل الكوكب ليست متمركزة بعد الآن في مركز الأرض — فهي تبعد قليلًا عن المركز — لذلك ففي جزء من حركته يكون الكوكب أقرب إلى الأرض أكثر من بقية الأوقات. وعندما يكون الكوكب أقرب إلى الأرض، فسيبدو كأنه يتحرك أسرع. ويسمى مركز الكرة منحرفًا eccentric. وقد جعل بطليموس المركز المنحرف في بعض حساباته، يتحرك ولو ببطء.

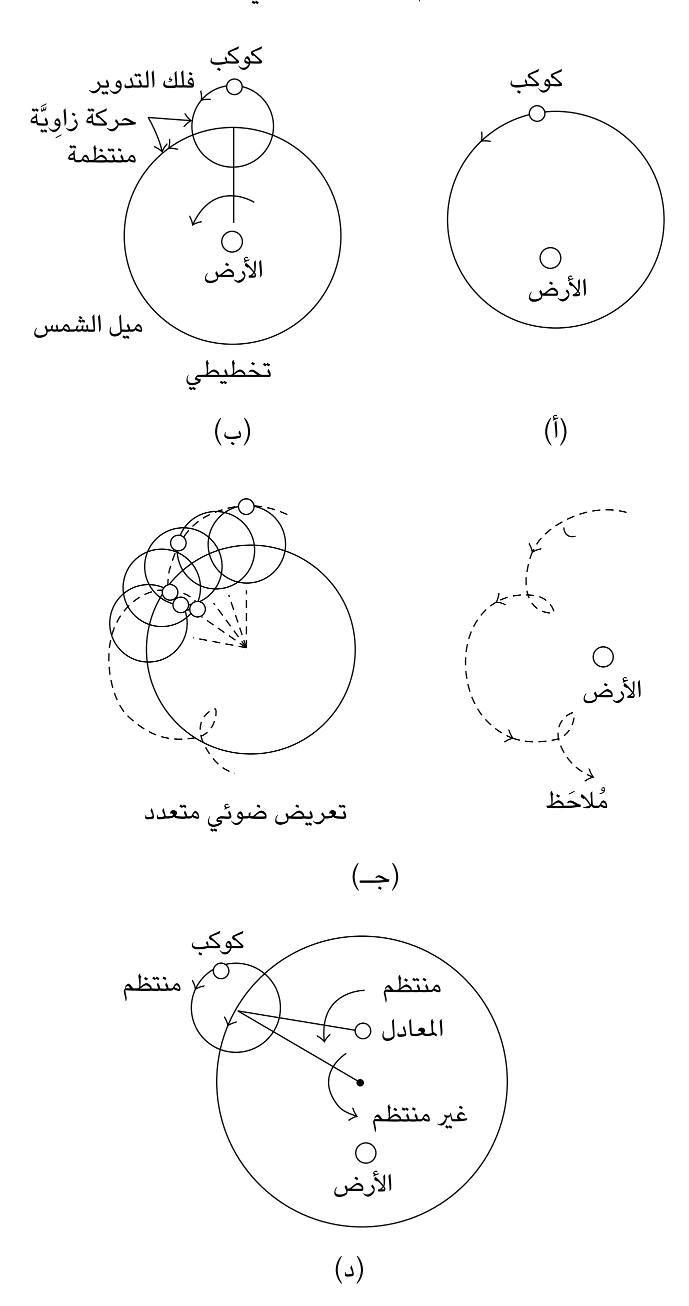
يبين شكل ٢-٥(ب) فلك تدوير epicycle، الذي هو كرة يتحرك مركزها حول كرة أخرى أو يُحمل عليها، تسمى الناقل Deferent. ويحمل الكوكب نفسه على



كلاوديوس بطليموس Claudius Ptolemay
(أرشيف بيتمان).

فلك التدوير. ويدور فلك التدوير حول مركزه، حيث يحمل المركز بواسطة الناقل. وقد يكون مركز الناقل نفسه في مركز الأرض — أو على الأرجح يكون منحرفًا هو الآخر. وتبعًا للحجم النسبي والسرعة لفلك التدوير وحركة الناقل، فإن المسارات التي يتبعها الكوكب قد تكون من أي نوع تقريبًا. وكما هو مبين في شكل ٢-٥(جـ)، يمكن أن تتولد الحركة التراجعية، ويصبح الكوكب أقرب إلى الأرض بينما يعاني من الحركة التراجعية. ومن الممكن استخدام تزاوج فلك التدوير وحركة الناقل في توليد دائرة منحرفة المركز أو شكل إهليلجي يقترب من الشكل البيضاوي (القطع الناقص)، أو حتى تقريبًا مسارًا مستطيلًا rectangular. (من الممكن رؤية حركة الأفلاك التدويرية مثل تلك الموجودة في بعض الملاهي، حيث المقاعد مثبته على منصة دوارة وهي بدورها مثبتة من نهايتها بذراع طويلة دوارة. والطرف الآخر للذراع مرتكز ويمكنه الحركة، راجع شكل ٢-٦).

وليس كافيًا للأغراض الفلكية توليد شكل محدد للمسار. بل من الضروري كذلك أن تنتقل الأجرام السماوية على طول المسار بسرعة مناسبة: أي لا بد أن تبين الحسابات أن الكوكب يصل إلى نقطة ما في السماء في الوقت المضبوط. وفي الحقيقة، أصبح من الضروري إما أن نجعل الكوكب على فلك التدوير أو نجعل مركز فلك



شكل ٢-٥: تصميمات استخدمها بطليموس في نموذجه لمركزية الأرض (أ) المركز المنحرف. (ب) حفظ فلك تدوير على ناقل. (جـ) توليد حركة تراجعية بواسطة فلك دوار. (د) نموذج بطليموس إيكوانت equant.



شكل ٢-٦: ملاهٍ تتضمن أفلاك تدوير (تشارلز جبتون/ستوك بوسطن).

التدوير على الناقل يسرع أو يبطئ. وبذا أصبح من الضروري إدخال تصميم آخر اسمه إيكوانت equant، كما هو مبين في شكل ٢-٥(د). لاحظ أن الأرض تقع في جانب من المركز المنحرف، والإيكوانت على مسافة مساوية في الجانب الآخر من المركز المنحرف. وكما هو واضح من الإيكوانت، يتحرك مركز فلك التدوير حركة زاوية منتظمة، وبذلك يحفظ مشاهد الحركة المنتظمة. وتعني الحركة الزاوية المنتظمة أن خطًّا يصل بين الإيكوانت ومركز فلك التدوير سيدور بسرعة عدد ثابت من الدرجات في الساعة، مثل عقرب الساعة. ومع ذلك، فإن الحركة الزاوية المنتظمة بالنسبة للإيكوانت هي ليست حركة منتظمة على طول محيط الدائرة. لأن طول الخط من الإيكوانت إلى الكوكب يتغير، وتتغير السرعة على طول محيط الدائرة (مثلًا بالأميال في الساعة) متناسبة مع طول الخط.

استغل بطليموس هذه التصميمات منفردة أو مجمعة، كلما دعت الحاجة، لحساب مواقع الكواكب. وقد استخدم أحيانًا أحد التصميمات لحساب سرعة القمر مثلًا، واستخدم تصميمًا آخر لحساب مواضع الكواكب. ولم يكن بطليموس معنيًّا باستخدام مجموعة متسقة من التصميمات في الوقت نفسه معًا، فيما يخص جميع السمات لحركة جرم سماوي واحد. وكان اهتمامه الرئيسي منصبًّا على حساب الموقع الصحيح وأوقات ظهور الأجسام السماوية المختلفة. وفي هذا الصدد، فإنه كان مثل

الطالب الذي يعرف إجابة المسألة؛ ولذا فهو يبحث عن المعادلة التي تعطيه الإجابة الصحيحة دون أن يزعج نفسه فيما إذا كان لاستخدام تلك المعادلة أي معنى.

وقد حاول فيما بعد بعض الفلكيين وبعض المعلقين على منظومة بطليموس أن يجعلوا الحسابات تتفق مع منظومة فيزيائية معقولة. وهكذا تخيلوا أن أفلاك التدوير كانت تدور بالفعل حول الناقلات الخاصة بها. وكان ذلك يعني طبعًا، أن الكرات المختلفة لا بد أن تكون شفافة حتى نتمكن من رؤية الكواكب من الأرض. وبذا لا بد أن تكون الكرات مصنوعة من مادة تشبه الكريستال، وربما تكون الأثير الذي غَلُظَ قوامه. وكان من المعتقد أن الفضاء بين الكرات يمتلئ بالأثير، لأنه لم يكن أحد يؤمن بوجود الفراغ أو الفضاء الخالي.

ويرى العقل الحديث، أن منظومة بطليموس تبدو بعيدة التحقق، على الرغم من أنه في عصره وعلى مدى أربعمائة سنة بعده، كانت هي المنظومة الوحيدة التي توصلوا إليها، وكان لها القدرة على إنتاج جداول فلكية بالدقة المطلوبة لصناعة التقاويم والملاحة. ونكرر، كان هناك هدف واحد أولي في ذهن بطليموس هو: تطوير منظومة وتقنية رياضية تسمح بالحسابات الدقيقة. كانت الاعتبارات الفلسفية (كانت الفيزياء تعتبر فرعًا من الفلسفة) غير مناسبة لأغراضه. وباختصار، استخدم مخطط بطليموس على نطاق واسع للغرض البرجماتي المقنع الذي عمل له.

إحياء نظرية مركزية الشمس بواسطة كوبرنيكوس Copernicus

وفقًا لنظرية مركزية الشمس (الشمس في المركز)، فإن الشمس هي مركز حركة الكواكب، والأرض كوكب، مثل المريخ والزهرة، يتحرك في مسار حول الشمس، ويدور حول محوره. ومنذ أيام أرسطو، وربما قبل ذلك، كانت إمكانية دوران الأرض حول محورها محل اعتبار. حتى إن اقتراحًا قديمًا كان يقول بأن الأرض، مثلها مثل الشمس، تتحرك حول «نار مركزية». وقد رفضت هذه الأفكار، وسنناقش بعض الحجج المضادة لها فيما بعد. وقد ظن الإغريق عمومًا أن فكرة الحركة ودوران الأرض هي فكرة يتعذر الدفاع عنها، وكانت تعتبر فكرة عامة وخطيرة، ومن السخف تناول مثل هذه الأفكار.

ومع ذلك، وفي الجزء الأخير من القرن الرابع عشر، اقترح عدد قليل من الأفراد أن هناك بعض الصعوبات المنطقية في مفهوم العالم المتمركز حول الأرض؛ لأنه إذا كان دوران النجوم اليومي راجعًا إلى دوران الكرة السماوية، ونظرًا لحجمها المهول

وللنجوم الكثيرة الموجودة على الكرة السماوية؛ فإنها لا بد أن تتحرك بسرعة عالية وهذا أمر مستحيل. ويبدو أنه من المعقول افتراض أن الأرض الصغيرة فقط هي التي تدور، وأن الدوران اليومي هو ببساطة مجرد خداع بصري يعكس الحركة النسبية. وبعد بعض الوقت كان هناك اقتراح بأن خالقًا مطلقًا للكون قد جعله مطلقًا لانهائيًّا في الزمان والمكان، ولذا فإن أي مكان يمكن اعتباره المركز. كانت تلك مجرد تخمينات، ومع ذلك لم يتعرض أحد للحسابات التفصيلية الضرورية لدعم مثل هذه الاقتراحات حتى القرن السادس عشر، عندما قام أحد رجال الدين من صغار الرتبة في كاتدرائية فراونبرج Frauenberg (اسمها الآن فرومبورك Frombork في بولندا) بدراسة هذه المشكلة.

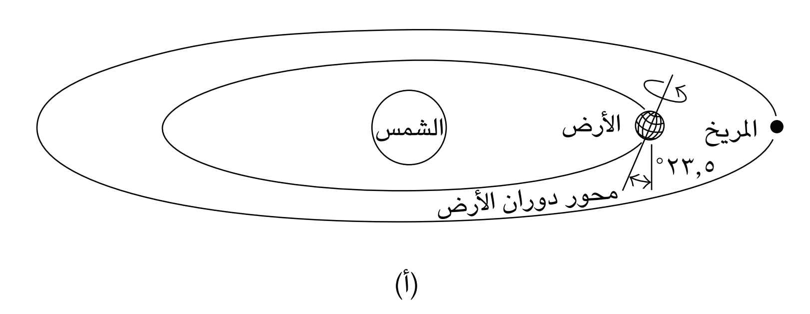
درس هذا الرجل، نيكولاوس كوبرنيكوس Nicolaus Copernicus في جامعات كراكوف Cracow في بولندا، وبولونيا Bologna وبادوا Padua في إيطاليا، حيث اكتسب معرفة جيدة في الرياضيات والفلك واللاهوت والطب والقانون والفلسفة الإغريقية. ولم تكن واجباته في الكاتدرائية تتطلب وقتًا كثيرًا، لذلك كان في مقدوره إجراء دراسة مطولة ومستفيضة في الفلك.

توصل كوبرنيكوس في النهاية إلى أن منظومة بطليموس كانت معقدة أكثر من اللازم. ويبدو الآن بوضوح أن كوبرنيكوس قد تأثر بالأفلاطونية الجديدة Neoplatonism، وهو استشراف فلسفي له جذور قوية في الفكر الإغريقي الكلاسيكي. وكانت هناك قاعدة متسقة مع هذا الاستشراف هي موسى أوكهام Ockham's razor، التي ينص جوهرها على أن التفسيرات الأبسط مفضلة على التفسيرات المعقدة. (وفي هذا الصدد، يقال إن الملك ألفونسو العاشر ملك كاستيل Castille، الذي مول سنة ١٢٥٢ حسابات جديدة للجداول الفلكية مستخدمًا تقنيات بطليموس مع بيانات إضافية؛ يقال إنه قد تذمر قائلًا إنه كان على الرب أن يستشيره قبل إرساء مثل هذا النظام المعقد.) كان كوبرنيكوس مستاءً من الطريقة غير المتسقة التي طبق بها بطليموس التصميمات المختلفة التي ناقشناها سابقًا. وقد اعتبر أن استخدام الإيكوانت بالتحديد متعارضًا مع فكرة الحركة الدائرية التامة نفسها. وقد أعاد اختيار نموذج مركزية الشمس لذلك، الذي كان قد اقترح منذ أكثر من ألف وخمسمائة سنة بواسطة أريستار خوس Aristarchus، الفلكي الإغريقي الذي عاش في زمن ما بين أرسطو وبطليموس.

اقترح كوبرنيكوس، متبعًا اقتراحات أريستارخوس، أن الشمس والنجوم الثابتة لا بد من اعتبارها ساكنة، وأن الأرض كوكب يعتبر هو الذي يدور حول الشمس بالشكل نفسه وفي الاتجاه نفسه مثل باقي الكواكب الخمسة. ولا بد أن يكون طول الوقت الذي يتطلبه دوران كوكب دورة كاملة حول الشمس أكبر كلما بعد الكوكب عن الشمس. وببساطة ليست الحركة التراجعية والإبطاء والإسراع في الكواكب إلا خداعًا بصريًّا، يحدث بسبب أن الاتجاه الذي يرى فيه أحد الكواكب من الأرض، يعتمد على المواقع النسبية للأرض والكواكب في مداراتها. وستتغير هذه المواقع النسبية مع الزمن بالطريقة نفسها التي تتبعها المواقع النسبية لسيارات السباق في سباق طويل حول حلبة سباق إهليلجية Oval. وسيسبق الكوكب السريع كوكبًا بطيئًا إلى أن يصبح الفارق طول حلبة كاملة، وسيمر بجوار الكوكب الأبطأ مرات ومرات. ولذلك، كما نشاهد من الأرض، فإن الكواكب الأخرى (أمامها وخلفها). ولا يعتبر الاقتران شيئًا خاصًّا أكثر من مشاهدة أحد الكواكب يتخطى كوكبًا آخر.

ويبين الشكل ٢-٧ تخطيطًا لكيفية حدوث الحركة التراجعية كما ترى من الأرض. ويبين الشكل ٢-٧(ب) المواقع النسبية للشمس، والأرض والمريخ في سبعة أوقات مختلفة. وتبين الأسهم الاتجاهات (مقارنة باتجاه نجم بعيد) التي على المشاهد من على الأرض أن ينظر إليها ليرى المريخ في تلك الأوقات. وفي الشكل ٢-٧(جـ) وضعت الاتجاهات المقابلة بعضها فوق بعض، كما تظهر للفلكيين أو لمن ينظر من الأرض في اتجاه المريخ. وقد عُدلت أطوال الأسهم لتناسب المسافات المتغيرة بين الأرض والمريخ في الأوضاع السبعة المختلفة. والنتيجة تفسير بسيط جدًّا «وطبيعي» للحركة التراجعية.

ولتفسير الدوران اليومي (الحركة اليومية diurnal motion)، اقترح كوبرنيكوس كذلك أن الأرض تدور حول محورها مرة كل ٢٣ ساعة و٥٦ دقيقة. (الدقائق الأربع الأخرى لتكملة الزمن الذي يكتمل فيه الدوران الظاهري للسماوات، وهي مطلوبة لأن الأرض قد تحركت إلى موقع مختلف في مدارها حول الشمس.) ومحور الدوران مائل بالنسبة لمحور المدار بمقدار الزاوية (٢٣,٥ درجة تقريبًا) التي تصنعها الدائرة الظاهرية لمدار الشمس مع خط الاستواء السماوي. (ويؤكد كوبرنيكوس بحزم كذلك أن هذا المحور المائل يدور ببطء شديد حول محور المدار محتفظًا بالزاوية نفسها لميله، وبذلك يفسر التغير البطيء جدًّا في المظهر الشامل للنجوم الثابتة، التي لوحظت منذ أيام بطليموس.)



(أ)

اتجاه النجوم البعيدة

اتجاه النجوم البعيدة

المريخ

الأرض

الشمس

الأرض

(جـ)

(ب)

شكل ٢-٧: نموذج كوبرنيكوس «مركزية الشمس» (أ) منظور تخطيطي للأرض والمريخ ودورانهما حول الشمس، يبين كيف تدور الأرض حول نفسها. (ب) المواقع النسبية للأرض والمريخ تبين الزوايا المختلفة للرؤية من الأرض في اتجاه المريخ (جـ) وضع زوايا الرؤية كما ترى من الأرض.

وفي الواقع، وجد كوبرنيكوس أنه بإزاحة وجهة النظر لحركة الكواكب من الأرض إلى الشمس، تصبح الحركات التي كانت تبدو معقدة جدًّا بسيطة جدًّا: لو تمكن أحد من الوقوف على الشمس فستظهر جميع الكواكب وهي تدور في مسارات دائرية،

وستكون الكواكب الأقرب إلى الشمس هي الأسرع. وعندئذ استنتج كوبرنيكوس من القياسات الفلكية، الترتيب الصحيح للكواكب حول الشمس، بادئًا بالأقرب: عطارد، والزهرة، والأرض، والمريخ، والمشتري، وزحل. وقد قام كذلك بحساب بعدها عن الشمس بدقة، فكانت الأرض على مسافة ٩٣ مليون ميل من الشمس.

بدأ إذن كوبرنيكوس في حساب كيف يمكن أن تبدو السماوات بدقة للفلكيين على الأرض. وبالتحديد قام بتقييم مشاهد الكواكب، والوقت والموقع، لمقارنتها بالقياسات الفلكية. واكتشف على الرغم من ذلك أن المواقع التي درسها تعطي نتائج أقل دقة من نظرية بطليموس! وبعبارة أخرى، كان مفهومه الجميل والأنيق، الذي كان يعمل جيدًا بطريقةٍ كيفية، قد فشل كميًّا.

أعاد كوبرنيكوس الشجاع إدخال بعض التصميمات التي استخدمها بطليموس: المركز المنحرف، والناقل، وفلك التدوير (لكن دون الإكوانت، الذي يزدريه). وفوق ذلك، ولدى إدخاله لهذه التصميمات، فإنه طبقها تطبيقًا أكثر اتساقًا بكثير جدًّا مما كان ممكنًا باستخدام طرق بطليموس. وقد استخدم كذلك عددًا أقل جدًّا من الكرات من مختلف الأنواع: ستًّا وأربعين، مقارنة بأكثر من سبعين استُخدمت في بعض حسابات من النوع البطلمي مؤخرًا.

جاءت نتيجة كل ذلك الجهد جداول فلكية لم تكن أفضل عمومًا من الجداول الفلكية المحسوبة باستخدام نظرية مركزية الأرض وطرق بطليموس. كانت هناك ميزة واحدة لمنهج كوبرنيكوس، طالما كان الفلكيون العمليون هم موضع الاهتمام: كانت الحسابات أبسط إلى حد ما في إجرائها.

أكمل كوبرنيكوس عمله سنة ١٥٣٠، إلا أنه لم ينشره بكل تفاصيله عدة سنوات، ربما خوفًا من ردود الأفعال التي قد يتسبب فيها؛ فقد ازْدُري بعنف المناصرون الأوائل لفكرة أن الأرض في حركة. وأخيرًا في سنة ١٥٤٣، وفي اليوم الذي توفي فيه، ظهر كتابه «عن دوران الكرات السماوية» on the Revolutions of the Heavenly Spheres. وكان مهدى إلى البابا بول الثالث، وقد جاء في مقدمته (التي كتبها شخص آخر) أن مخطط كوبرنيكوس يجب ألا يؤخذ على أنه يمثل الواقع، ولكن يعتبر ببساطة طريقة مفيدة لحساب مواقع الأجسام السماوية. وقد استخدمت منظومة كوبرنيكوس وحساباته في تحديد التقويم الجريجورياني، الذي أدخل أول مرة سنة ١٥٨٢، وما زال هو المستخدم حتى اليوم.

كان رد الفعل الأول على مخطط كوبرنيكوس يمكن اعتباره إلى حد بعيد متفقًا مع المقدمة: مفيد في الحسابات لكن ليس بالضرورة له علاقة بالواقع. كان كوبرنيكوس على دراية بالاعتراضات العديدة على نظرية مركزية الشمس أو أي نظرية تتضمن حركة الأرض منذ أن أثيرت مبكرًا في أيام الإغريق القدماء. وقد حاول في كتابه أن يفند هذه الاعتراضات التي يمكن تقسيمها إلى فئتين: (١) الاعتراضات العلمية. و(٢) الاعتراضات الفلسفية والدينية. وقد كان للفئتين الأهمية نفسها في أذهان معظم معاصريه.

كانت بعض الاعتراضات العلمية قائمة على المشاهدات الفلكية. فمثلًا، إذا كانت الأرض تدور بالفعل في مدار دائري حول الشمس، فإن المسافة بين الأرض إلى قسم محدد من خط استواء الكرة السماوية لا بد أن تختلف بمقدار ١٨٦ مليون ميل (قطر مدار الأرض). أما الفصل الزاوي بين نجمين متجاورين على الكرة فلا بد أن يتغير بوضوح، كما يتغير الفصل الزاوي بين شجرتين في غابة اعتمادًا على مدى قرب الشخص من الأشجار. ولم يلاحظ أبدًا التغير في الموقع الظاهري للنجوم (Star parallax) وأكد كوبرنيكوس بحسم أن النجوم كانت بعيدة جدًّا حتى إن التغير بمقدار ١٨٦ مليون ميل لم يكن سوى جزء صغير من التغير في المسافة الكلية من الأرض إلى النجوم حتى إن التغير في الموقع الظاهري سيكون أصغر من أن ترصده عين الإنسان. رفض منتقدوه هذا الرأي لأنهم كانوا يعتقدون أن الكرة السماوية كانت أكبر قليلًا من كرة زحل. (وفي الحقيقة، فإن أقرب النجوم بعيد جدًّا حتى إن التغير في الموقع الظاهري لم يشاهد إلا بعد قرنين من الزمان، عندما أتيحت تلسكوبات قوية قوة كافية.)

وكانت هناك اعتراضات أخرى لها علاقة بالأمر تتضمن الحجم الظاهري للنجوم. فعندما تُرى بالعين المجردة، يبدو أن كل النجوم لها القطر الظاهري نفسه لأنها بعيدة جدًّا. أما إذا حسبت أقطارها الحقيقية باستخدام المسافات من الأرض إلى النجوم التي أكدها كوبرنيكوس فسيتضح أنها عدة مئات الملايين من الأميال، وبذلك فهي أكبر كثيرًا من الشمس، وهو أمر شديد الغرابة كي يصدقه الناس. وكما اتضح فإن الحجم الظاهري للنجوم كما ترى بالعين المجردة مضلِّل من حيث كبره؛ بسبب الطبيعة الموجية للضوء وصغر فتحة العين النسبي، ولم يكن ذلك مفهومًا إلا بعد ٣٠٠ سنة، عندما تم التعامل مع مبادئ تشتت الضوء. (في الحقيقة، تبدو النجوم أصغر من خلال التلسكوب عنها عندما ترى بالعين المجردة!)

وكانت هناك كذلك اعتراضات قائمة على الفيزياء، كما كانت تفهم في ذلك الوقت. كان ذلك الفهم قائمًا أساسًا على كتابات أرسطو. مثلًا، من المؤكد أنه لو كانت الأرض تتحرك فعلًا، لكان لا بد لقاطنيها أن يشعروا بنسيم يتناسب مع سرعة الأرض، تمامًا مثل ما يشعر الشخص الذي يركب مركبة مفتوحة بالنسيم، وسرعة الأرض أثناء حركتها حول مدارها حوالي ٦٧٠٠٠ ميل في الساعة، وبالتأكيد كان «النسيم» الناتج سيدمر أي شيء على سطح الأرض. (العاصفة التي تزيد بها سرعة الرياح عن ٧٥ ميلًا في الساعة تعتبر إعصار هوريكان hurricane.)

وبالمثل، كان الادعاء بأن الأرض لو كانت تتحرك، فإن التفاحة التي تسقط من الشجرة لن تسقط في خط مستقيم إلى أسفل نحو الأرض، ولكنها ستسقط مبتعدة عدة أميال، لأن الشجرة والأرض من تحتها ستتحركان هذه المسافة خلال الزمن الذي تقطعه التفاحة لتصل إلى الأرض. وفي هذا الصدد، كم عدد الأحصنة (بالمصطلحات الحديثة، كم ستكون الآلة كبيرة) المطلوبة لتشد شيئًا في كتلة الأرض بهذه السرعة المذهلة؟ ولا يوجد أي دليل على العامل الذي يجعل الأرض تتحرك. وبالطريقة نفسها في التفكير المنطقي، فإن دوران الأرض حول محورها مثل أرجوحة دوامة الخيل merry-go-round لا بد أن يجعل قوة الطرد المركزي كبيرة بحيث يصبح القاطنون كلهم معلقون، وتصبح الحياة مدهشة. ولأنه لا يحدث شيء من هذا كله، كان من الصعب تصديق أن الأرض تتحرك حقيقة. (فكرة أن الأرض يمكن أن تمارس قوى جاذبية لم تتطور إلا بعد قرن من الزمان، كما كان هناك تمايز بين قوى الطرد المركزي وقوى الجذب المركزي.) وقد تغلب أنصار منظومة كوبرنيكوس على هذه الاعتراضات العلمية (راجع الفصل التالي)، إلا أن ذلك استغرق منهم حوالي قرن من الزمان.

وكان للاعتراضات الفلسفية والدينية الوزن نفسه. ولم تكن تحظى الفيزياء في ذلك الوقت بالاحترام الطاغي الذي تلقاه اليوم. وفي الحقيقة، كان يعتبر اللاهوت ملكَ العلوم. وقد تكاملت الفلسفة الأرسطية داخل العقيدة الدينية في أوربا الغربية في القرن السادس عشر. ومن المثير جدًّا، أنه منذ ألف سنة كانت وجهة نظر أرسطو ملعونة كشيء وثني، وفكرة أن الأرض كرة تعتبر هرطقة. ومع ذلك، ففي أيام كوبرنيكوس، سادت وجهة نظر أرسطو، التي كانت منطقية وعقلانية، وكان أي خطأ فيها يعتبر خطأ في كل النظام المقبول للأشياء. وكانت الأرض تعتبر متفردة وفي مركز العالم، وكذلك كان الإنسان.

وفي الفكر الأرسطي كانت الأرض والمنطقة المحيطة بها تحت القمر، حتى مدار القمر، تعتبر غير تامة. أما القمر والشمس والكواكب والنجوم فكانت تعتبر تامة لأنها في السماوات (وذلك هو السبب في أن حركتها دائرية)، إنها أجسام تامة تتحرك حركة تامة موروثة ومتأصلة في طبيعتها. أما الأرض، فلأنها كانت في المنطقة تحت القمرية، فقد كانت مختلفة في طبيعتها عن الأجسام السماوية، ولا يمكن أن تكون كوكبًا مثل الكواكب الأخرى، ولذلك لا يمكنها أن تقوم بنوع الحركة نفسه مثل الكواكب. كما كانت هي الأخرى تعتبر مختلفة لأنها تمارس تأثيرات خاصة على سلوك الأفراد، وما زالت الشخصيات المتفردة حتى الآن توصف أحيانًا بأنها عطاردية أو مشتراوية، أو زحلية مثلًا، كسمات منسوبة إلى كواكب عطارد والمشتري وزحل.* كما أن نظرية مركزية الشمس تقلل من الجذب الصوفي لعلم التنجيم.

هاجم رواد الإصلاح البروتستانتي الألمان نظرية مركزية الشمس لأنها كانت على عكس القراءة الحرفية للإنجيل. ومن المؤكد أن الدور المركزي للشمس في النظرية يمكن أن يؤدي إلى العودة إلى الممارسات الوثنية الخاصة بعبادة الشمس. كان رد فعل السلطات الدينية للكنيسة الكاثوليكية في البداية واهنًا، لكنهم في النهاية قاموا هم أيضًا بلعن مركزية الشمس بوصفها هرطقة. وقد رأى بعض المؤرخين أنه لو كان كوبرنيكوس طور أفكاره منذ خمسين سنة، أي قبل بداية الإصلاح بمدة، فلربما لاقت هذه الأفكار تعاطفًا أكثر من الناس. ولكن أن تأتي — كما حدث بالفعل — وسط الصراعات اللاهوتية للقرنين السادس عشر والسابع عشر، فإنها بدت وكأنها تحدٍّ للسلطات الرسمية للكنيسة، التي طالما تبنت نظرة مختلفة للكون (أو تحدٍّ للإنجيل، من وجهة نظر البروتستانت)؛ تحدٍّ يجب محاربته. (شعر كوبرنيكوس والآخرون الذين أيدوا وجهة نظر مركزية الشمس، بأن هذه الفكرة يمكن أن تتلاقى مع الإنجيل وأن الشمس تمثل ببساطة بهاء ومقدرة الرب.)

وقد بدا أن التحدي أكثر شراسة لأنه قد أدى إلى تخمينات متوحشة، مثل تلك الخاصة بجيوردانو برونو Giordano Bruno، الراهب الذي نادى بعد خمسين سنة

*يمكن الدفع بأن مثل هذه المعتقدات غير متسقة مع العقلانية التي وضعتها الفلسفة الأرسطية، إلا أن عدم الاتساق كان موجودًا في جميع الحضارات. وفضلًا عن ذلك فقد اكتسبت أوربا العصور الوسطى معرفتها بالفلسفة الأرسطية ليس من النص الإغريقي الأصلي، بل من الترجمة اللاتينية للنسخ العربية. وقد أضاف المترجمون بالقطع أفكارهم الخاصة إلى النص الأصلي.

من وفاة كوبرنيكوس، بأنه إذا كانت الأرض مثل الكواكب، إذن لا بد أن تكون الكواكب مثل الأرض. وبالتأكيد هي مأهولة بالناس الذين مارسوا خبرة تاريخية ولاهوتية مماثلة للخبرات التي أصبحت معروفة على الأرض، بما في ذلك كل الأحداث المسجلة في الإنجيل. وقد أكد برونو أن العالم غير محدود ولا نهائي في اتساعه، وأن الشمس هي مجرد نجم صغير، وأن هناك منظومات كواكبية أخرى. أما تفرد الجنس البشري بعناية الرب له والخبرات والممارسات المتنوعة فقد أصبحت بذلك مفقودة. (وفي النهاية تم حرق برونو على الخازوق لأنه رفض أن يشجب وينكر تلك الهرطقة وغيرها.)

وبأخذ جميع الأمور في الاعتبار، وفي ضوء الاعتراضات المختلفة التي أثيرت ضد نظرية كوبرنيكوس، وحقيقة أنها بعد تنقيحها لم تعط نتائج أفضل من نظرية بطليموس، فقد بدا أنه لا يوجد سبب قوي لتفضيل نظرية كوبرنيكوس. أما ميزتها الرئيسية فيبدو أنها أكثر جاذبية لأذهان بعض الفلكيين وأنها تقدم حسابات أسهل. وهي مع ذلك، تعرض أكثر من مخطط محتمل «للحفاظ على المَشاهد»، وقد بلورت فكرة أن نظرية بطليموس لم تعد مقنعة بعد الآن. وقد حان الوقت لنظريات جديدة أفضل في الفلك.

بيانات جديدة ونظرية جديدة

كانت إحدى نقاط الضعف في أعمال كوبرنيكوس أنه استخدم كميات كبيرة من بيانات عتيقة، من المحتمل أن تكون غير دقيقة. ولم يقم هو نفسه إلا بعدد محدود من الملاحظات الفلكية. وفي سنة ١٥٧٦ بنى الفلكي الدانمركي تايكو براهي Tycho Brahe مرصدًا فلكيًّا على جزيرة بالقرب من كوبنهاجن تحت رعاية ملك الدانمرك. وكان براهي نبيلًا له مظهر مخيف (كان له أنف من الفضة نتيجة مبارزة)، إلا أنه كان ملاحظًا حريصًا ومدققًا، وكان قادرًا على قياس موقع كوكب أو نجم بدقة كافية، وقد قضى السنوات العشرين التالية في جمع عدد كبير من القياسات فائقة الدقة لمواقع الشمس والقمر والكواكب. وحيث كانت القياسات السابقة موثقة يعتمد عليها بدقة زاوية مقدارها ١٠ دقائق على القوس، فإن بيانات براهي كانت دقتها ٤ دقائق على القوس (هناك ٦٠ دقيقة في كل درجة). وحتى نحصل على فكرة عما يعنيه ذلك: إذا استخدمت مؤشرًا طوله ياردة واحدة لمشاهدة كوكب، فإن انحرافًا في نهاية المؤشر مقداره ١/٢٥ من البوصة سيعطي خطأً في قياس الزاوية مقداره ٤

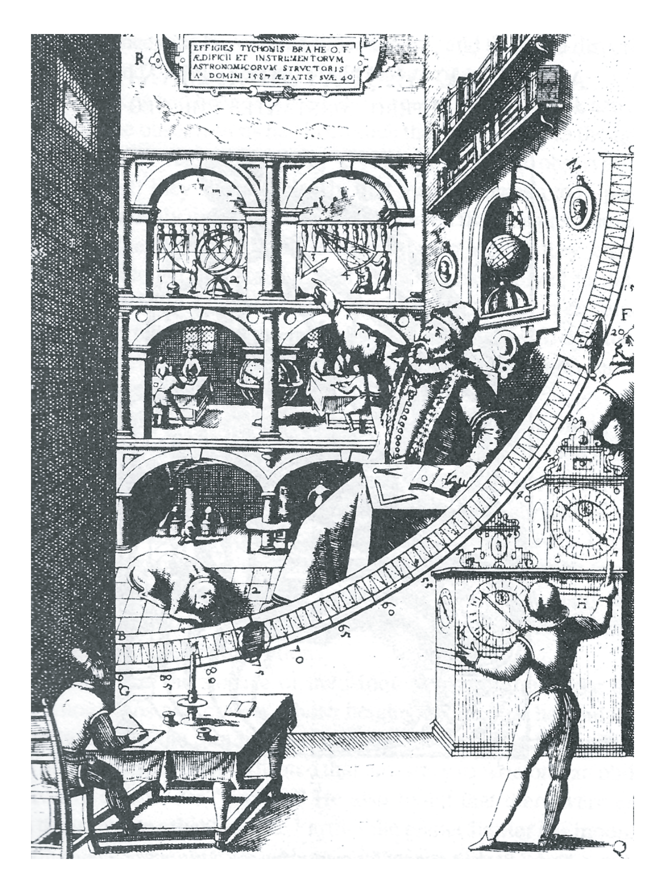


تايكو براهي
(مجموعة صور المكتبة العامة في نيويورك).

دقائق على القوس. وبينما كانت معظم الملاحظات السابقة ملتزمة بمشاهدة مواقع الكواكب في نقاط رئيسية معينة، فإن براهي قام بتتبعها على طول المدار كله. لم يقم براهي بملاحظاته باستخدام التلسكوب (الذي لم يكن قد اخترع حتى ١٦٠٨) ولكن باستخدام «أنابيب الملاحظة» المتنوعة وأجهزة مؤشرات اخترعها بنفسه.

وقد اكتشف براهي أنه لا نظرية كوبرنيكوس ولا نظرية بطليموس كانت تتفق مع بياناته الجديدة. وفي الحقيقة، كان يعلم أن كلًّا من النظريتين بها أخطاء جدية. وذلك قبل أن يبني مرصده بثلاث عشرة سنة. وقد شاهد اقتران المشتري مع زحل، وعندما راجع الجداول الفلكية اكتشف أن نظرية بطليموس قد تنبأت بحدوث هذا الاقتران بعد شهر، بينما تنبأت نظرية كوبرنيكوس بحدوثه بعد عدة أيام. كما أن تايكو براهي كان متأثرًا بالحجج المتنوعة ضد حركة الأرض، وكان قد تحقق من إمكانية تصميم نظرية أخرى قائمة على الحركة الدائرية التامة.

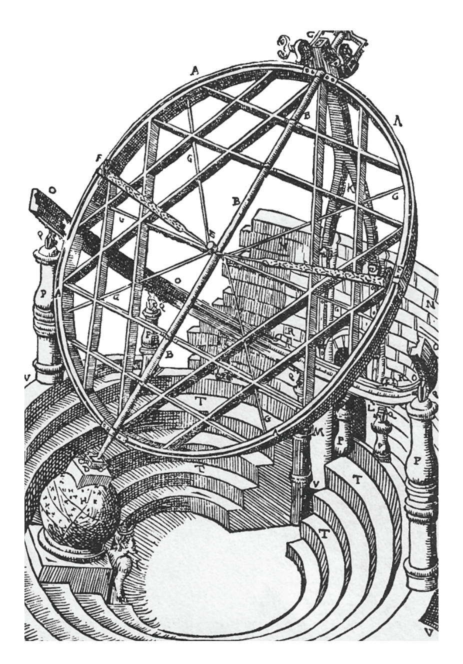
ولذا فقد اقترح براهي أن الأرض تقع في مركز كرة النجوم الثابتة وأنها ساكنة، وأن الشمس والقمر يسيران في مدارين حول الأرض. أما الكواكب الخمسة الأخرى



تايكو براهي في مرصده
(مكتبة نيلز بوهر AIP).

فقد كانت تسير في مدارات حول الشمس. وتسمى النظرية من هذا النوع، التي تظل فيها الأرض في مركز العالم، لكن الكواكب الأخرى تدور حول الشمس؛ بنظرية تايكو Tychonic. وفي نسخة نظرية تايكو براهي تدور المجالات الخارجية للنجوم وتكمل دورة واحدة كل أربع وعشرين ساعة لينتج عنها الحركة اليومية. وفي نظريات تايكو الأخرى، تكون كرة النجوم ثابتة بينما تدور الأرض حول محورها يوميًّا وهي في مركز الكرة.

وقد أصبح نموذج تايكو مقبولًا بصفة عامة من قبل معظم الفلكيين في ذلك الوقت، وذلك لأنه احتفظ بشيء ما من الوحدة الذهبية لنظرية مركزية الشمس، والسهولة النسبية للحسابات في مخطط كوبرنيكوس، وفي الوقت نفسه تجنبت نظرية



سدسية (آلة السدس) — سكستانت Sextant — براهي لقياس مواقع الكواكب (مكتبة نيلز بوهر).

براهي كل الصعوبات الملازمة لحركة الأرض. وعلى الرغم من أن هذه النظرية قد أُبطلت بعد ذلك، فإنها متميزة لأنها تمثل الاعتراف بفشل نموذج بطليموس. لم يكمل براهي نظريته تمامًا، وعلى فراش موته كلف مساعده وتابعه ووريثه النهائي جوهانس كبلر Johannes Kepler بمهمة إجراء الحسابات التفصيلية الضرورية.

اكتشافات وحجج جديدة

كان كل من كوبرنيكوس وبراهي جزءًا من تقاليد راسخة ومستمرة في الفلك: ملاحظة وحساب موقع الأجسام السماوية. ومع ذلك بدءًا من أواخر القرن السادس عشر، بدأت فئات جديدة من المعلومات تلقى اهتمامًا واضحًا.

وفي عام ١٥٧٢ كان نجم جديد ساطع جدًّا يرى في أوربا الغربية، تلألأ هذا النجم وأصبح أكثر سطوعًا من أي نجم آخر، بل أكثر سطوعًا من الكواكب، وقد بينت المشاهدات الدقيقة بواسطة براهي وعدد آخر من الفلكيين أن هذا النجم كان بعيدًا جدًّا وثابتًا في موقعه مثل أي نجم آخر. كما تمت رؤية نجم آخر مماثل سنة

١٦٠٤، ويسمى مثل هذا النجم مستعر Nova وهو ليس شائعًا. وقد شوهد مذنب سنة ١٥٧٦ يتحرك عبر السماوات وراء المجال القمري، وفي اتجاه يدل على أنه لا بد قد اخترق عددًا من الكرات الكوكبية.

وقد سجلت مثل هذه الأحداث في سجلات الفلكيين الإغريق، إلا أن نوعية الملاحظات كانت وكأنها قد وقعت في تفكيرهم في المنطقة تحت القمرية. وكانت الملاحظات في الأعوام ١٥٧٢، ١٥٧٦، و١٦٠٤ تحديدًا لها مغزى؛ فقد بينت بوضوح أن الظواهر تحدث في العالم الفلكي أو السماوي. ويعنى ذلك أنه حتى السماوات تعاني من التغير. وإذا كانت السماوات تتغير، فإنها لا يمكن أن تكون تامة — وإلا ماذا قد يكون السبب؟ ومع ذلك، وتبعًا لفيزياء أرسطو، فإن الحركة الدائرية كانت محفوظة في السماوات لأنها تامة، بينما لا يمكن أن تكون الأرض دائرية في حركتها لأنها غير تامة. إلا أن المشاهدات الجديدة قد اقترحت أن السماوات ليست تامة، ولذا ليس هناك سبب يجعل حركة الأرض تختلف عن حركة الكواكب.

كانت ملاحظات المستعرات والمذنبات مجرد البداية لعدد كبير من الملاحظات الجديدة من نوع مختلف كيفيًّا. اخترع التلسكوب في ١٦٠٨، وكانت النية أن يستخدم في الأغراض العسكرية، لكن في ١٦٠٩ استخدم رجل إنجليزي اسمه توماس هاريوت Thomas Hariot واحدًا منها لفحص سطح القمر. وفي نهاية السنة نفسها، قام جاليليو جاليلي أستاذ الرياضيات في جامعة بادوا بإيطاليا بتصميم تلسكوب متطور جدًّا، وأداره ناحية السماوات. وفي يديه أصبح التلسكوب مصدر الكثير من الاكتشافات الهامة. وقد نشر في أوائل ١٦١٠ كتابًا صغيرًا هو «مرسال النجوم» Sidereus Nuncius–starry Messenger.

اكتشف جاليليو أن سطح القمر كان كبير الشبه بسطح الأرض، به جبال وفوهات مخروطية، كان يمكنه تقدير ارتفاعاتها وعمقها، وأن هناك بقعًا على سطح الشمس تظهر وتختفي مع الزمن. وقد بين كل من هذين الاكتشافين أنه ليس كل الأجسام السماوية تامة «على عكس الفلسفة الأرسطية». كما أنه اكتشف أن هناك مراكز للدوران في العالم غير الأرض — فكان لكوكب المشتري أقمار، كما أن الشمس تدور حول محورها الخاص. وكان قادرًا على رؤية كوكب الزهرة وهو يمر بأطوار مثل القمر، أي قد يكون مضاء كله مثل القمر وهو بدر، أو مضاء جزئيًّا مثل القمر وهو هلال. ولا يمكن تفسير ذلك إلا إذا كان كوكب الزهرة يدور في دائرة حول الشمس.

كان جاليليو قادرًا على رؤية أن هناك الكثير جدًّا من النجوم في السماء أكثر مما كان يعتقد سابقًا، نجوم أبعد من أن ترى بالعين المجردة. ومع هذا فإن تلسكوبه كان يجعل الأشياء تبدو أقرب ثلاثين مرة عن رؤيتها بالعين المجردة، لكنها كانت تبدو مجرد نقاط من الضوء، مما يدل على أنها على الأقل كانت بالفعل بعيدة عن المسافة التي زعم كوبرنيكوس وجودها. وفي الحقيقة كما أشرنا، فإن ملاحظة النجوم بالتلسكوب تجعل قطرها الظاهري أقل من القطر الظاهري عندما ترى بالعين المجردة؛ نتيجة للفتحة الأكبر في التلسكوب. كان ذلك كله بمثابة تفنيد تجريبي لبعض الاعتراضات التي أثيرت في مواجهة نظرية مركز الشمس.

كان جاليليو قد بدأ قبل ذلك في تطوير مبادئ جديدة في الفيزياء معاكسة لتلك التي قال بها أرسطو، والتي استطاع بواسطتها مواجهة الاعتراض العلمي على منظومة كوبرنيكوس (راجع الفصل ٣). كان جاليليو شخصًا مفعمًا بالحيوية، وخبيرًا محنكًا ومجادلًا عنيفًا، ومشاركًا في المناظرات العلمية في أيامه. وكان في الحقيقة، مدمرًا في حججه سواء المكتوبة أو المنطوقة حتى إن ذلك قد أكسبه عددًا من الأعداء، وكذلك عددًا من الأصدقاء.

وبحلول ١٦١٦ كان الانقسام الديني الذي نشأ عن الإصلاح والإصلاح المضاد قد أصبح من الكبر بحيث تدنت هوامش التسامح في أي حيود عن العقائد الراسخة بشدة. وقد حُذر جاليليو في تلك السنة من الدفاع جهارًا عن منظومة كوبرنيكوس. وفي ١٦٢٣ أصبح الكاردينال باربريني Barberini المدافع المتميز عن الفنون والعلوم، بابا. وظنًا من جاليليو أن المناخ أصبح أكثر مواءمة، فقد شعر أنه يمكنه الشروع في دفاع أكثر شدة عن منظومة كوبرنيكوس. وفي النهاية وضع كتاب «محاورات تتعلق بالمنظومتين الرئيسيتين في العالم» Concerning the two chief world systems Dialogues، الذي كان مخصصًا للعامة المتعلمين من غير اللاهوتيين. وكان أسلوب الكتاب هو محاورات سقراط، وبه ثلاث شخصيات: مدافع عن منظومة بطليموس، ومدافع عن منظومة كوبرنيكوس ووسيط ذكي. وفي نهاية الكتاب أذعن المدافع عن كوبرنيكوس لصحة منظومة بطليموس، على الرغم من أنه كان من الواضح جدًّا للقارئ أن منظومة كوبرنيكوس قد تبين أنها هي الصحيحة. وبالإضافة إلى ذلك، كان المدافع عن بطليموس مصورًا كإنسان ساذج إلى حد ما.

تمكن جاليليو من الحصول على موافقة التفتيش (الرقابة) الكنسي على مخطوطته، وطُبع الكتاب سنة ١٦٣٢. ولسوء الحظ كان له أعداء كثيرون في مناصب رفيعة،

وسرعان ما تمكنوا من الإشارة إلى النية الحقيقية للكتاب وتضميناته. وقد أكدوا بحسم أن جاليليو كان يرمي إلى ازدراء الشخصيات الكنسية الرفيعة. وبعد بضعة أشهر حُرِّم الكتاب وصدر الأمر بتدمير النسخ الباقية منه. واستُدعي جاليليو للمحاكمة أمام محاكم التفتيش، وتحت تهديد الإعدام أجبر على إنكار عقيدة كوبرنيكوس وشجب الدفاع عنها. وربما نظرًا لتقدمه في السن، واعتلال صحته، وخضوعه لإرادة محاكم التفتيش، فإن عقوبته جاءت خفيفة نسبيًّا: اعتقال رهن المنزل والإحالة إلى التقاعد. وبرعاية ابنته غير الشرعية توفي بعد تسع سنوات في ١٦٤٢، قبل وقت قصير من عيد الميلاد الثامن والسبعين. لم يقم بالدفاع عن منظومة كوبرنيكوس بعد ذلك بهمة، لكنه كرس وقته لكتابة كتاب آخر «محادثات حول علمين» Discources on two Sciences الذي كتب فيه تفاصيل نتائج بحوثه في الميكانيكا والضوء. وقد نشر هذا الكتاب في هولندا، حيث كان الجو الفكري أكثر ملاءمة من إيطاليا.

نظرية مركزية الشمس

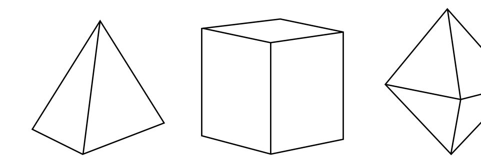
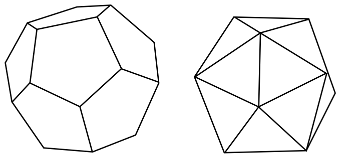
استخدم كل من تايكو براهي وجاليليو جاليلي منهجًا حديثًا نسبيًّا في معالجة المسائل العلمية. كان براهي يصر على أهمية جمع البيانات المنظمة والمستفيضة والدقيقة. أما جاليليو فلم يكن مهتمًّا بإجراء الملاحظات، لكنه كان يعترف بضرورة التداخل لتعديل الظروف التجريبية من أجل استبعاد العوامل الغريبة. وكان الرجلان عقلانيين جدًّا ومنطقيين في منهج أعمالهما. ومن ناحية أخرى، فكان كوبرنيكوس معنيًّا بالتضمينات الفلسفية لأعماله، وكذلك كبلر بل كان أكثر منه (وسنتحدث عنه فيما بعد). وكان كبلر على دراية جيدة بأن الفيثاغورسيين القدماء قد راكموا كمًّا كبيرًا حول العلاقات العددية البسيطة بين الظواهر. وكان الفيثاغورسيون هم الذين تعرفوا على أن النغمات الموسيقية تصبح أكثر بهجة إذا كانت المسافات بين مكوناتها متناغمة — أي مضاعفات بسيطة لبعضها. اكتشف الفيثاغورسيون كذلك أن نغمة الصوت الصادر عن وتر مشدود لها علاقة بطول الوتر، بحيث يمكن الحصول على النغمات الأعلى بتغيير طول الوتر بكسور بسيطة. وعندما استداروا ناحية السماوات، أكدوا بحسم أن كل كرة كوكبية، وكذلك كرة نجم، تبعث بصوتها الموسيقى المميزة الخاصة بها. ولم يلاحظ معظم البشر أبدًا مثل هذه الأصوات، فقط لأنهم يسمعونها باستمرار منذ الميلاد. وكان من المقترح أن المسافات بين الكرات كانت هي الأخرى تتناسب مع المسافات الموسيقية، وذلك وفقًا لبعض الأساطير حول الفيثاغورسيين.



جوهانس كبلر
(مكتبة نيلز بوهر AIP).

ولد جوهانس كلبر بعد نشر عمل كوبرنيكوس العظيم بثمان وعشرين سنة. وكان يحب الانغماس في تخمينات الفيثاغورسيين حول طبيعة السماوات. وقد تأثرت شخصيته بلا شك بطفولته غير السعيدة، صحة معتلة نسبيًّا، وافتقار للأصدقاء في شبابه. وقد أظهر عبقرية رياضية وهو مراهق، ونجح وهو شاب في الحصول على وظيفة معلم للرياضيات. وسرعان ما اعتُرف بمقدرته الرياضية، ونتيجة لذلك تم التغاضي عن عيوبه كمعلم وعن مشاكل شخصيته. وحقيقة أنه كان معلمًا سيئًا لم يحصل على عدد كبير من الطلبة قد ساعدته في توفير وقت أكبر لدراساته الفلكية وتخميناته.

كان كبلر مقتنعًا أساسًا بصحة نظرية مركزية الشمس، وكان ينظر إلى الأرض كواحد من الكواكب الستة التي تدور حول الشمس. ونظرًا لولعه الشديد بالأرقام، فإنه كان يتعجب لكون الكواكب ستة وليس عددًا آخر، ولماذا هي على هذه المسافات من بعضها، ولماذا تتحرك بسرعاتها بالتحديد. وفي بحثه عن أي ارتباط بالهندسة، استرجع ما كان الإغريق القدماء قد أثبتوه من أن هناك فقط خمسة جوامد «تامة» معروفة باسم الجوامد الفيثاغورسية أو الأفلاطونية، هذا عدا الكرة.

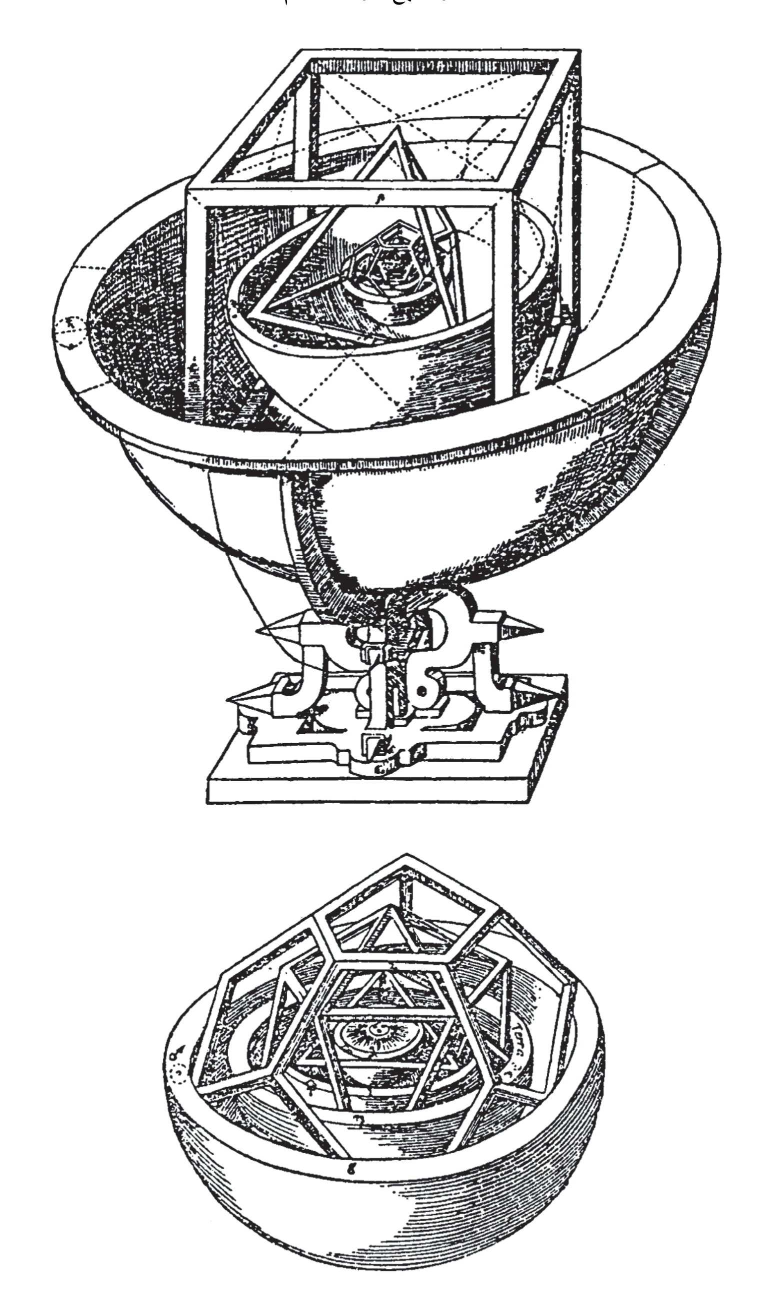
المجسمات الأفلاطونية

شكل ٢-٨: المجسمات الأفلاطونية. من اليسار إلى اليمين: شكل رباعي الأسطح، مكعب، شكل ثماني الأسطح، شكل ذو اثنا عشر سطحًا، شكل ذو غشرين سطحًا.

كانت كرة زحل هي أكبر الكرات، موجود بداخلها مكعب يمس سطحها الداخلي بأركانه. وداخل المكعب هناك كرة هي كرة المشتري، وهي من الكبر بحيث تمس المكعب في منتصف أسطحه الداخلية. وبداخل كرة المشتري هناك شكل رباعي الأسطح Tetrahedron بداخله كرة المريخ. وبداخل كرة المريخ هناك شكل ذو اثني عشر سطحًا dodecahedron، ثم تأتي كرة كوكب الأرض ثم الشكل ذو العشرين سطحًا Icosahedron، ثم كرة الزهرة، فالشكل ثماني الأسطح، وأخيرًا أصغر الكرات، كرة عطارد. وبهذا الترتيب في المواقع، فإن نسبة أقطار الكرات تقريبًا قريبة من نسبة المسافات المتوسطة للكواكب من الشمس. وتحتفظ الأرض بشيء من التفرد في هذا المخطط: إذ تستقر كرة الأرض بين جامدين لهما أكبر عدد من الأسطح: وهما الجسمين ذو الاثنا عشر والعشرون سطحًا.

وبالطبع كان كبلر يعرف أن كرات الكواكب لم تكن منتظمة المركز حول الشمس، وقد وجد كوبرنيكوس أنه من الضروري إدخال مراكز منحرفة في حساباته. لذا جعل كبلر الكرات داخل أغلفة كروية سميكة بما يكفي لتستوعب تسكعات الكواكب وحيودها عن الحركة الدائرية التامة حول الشمس. لم تتفق النتائج بالضبط مع البيانات، لكنها اقتربت منها بما يكفي في رأي كبلر ليرغب في متابعة البحث. وقد نشر هذا المخطط في كتاب عنوانه «سر الكون» Mysterium Cosmogrephicum–The Cosmic Mystery، الذي أصبح معروفًا جيدًا ورسخ سمعته كرياضي قادر ومبدع وفلكي. وحيث إننا نعرف الآن أن هناك تسعة كواكب على الأقل،* فإن مخطط كبلر ليس له قيمة، على الرغم من أنه ما زالت الأسئلة مطروحة حول لماذا تقع

*أصبحت الكواكب ثمانية بعد استبعاد بلوتو في آخر مؤتمر فلكي. (المترجمان)



شكل ٢-٩: تنظيم كبلر للكرات والمجسمات الأفلاطونية لتفسير ترتيب الكواكب والمسافات بينها، ويوضح الرسم السفلي بمزيد من التفصيل كرات المريخ والأرض والزهرة وعطارد. لاحظ وجود الشمس عند المركز. (من الأشكال الواردة في كتاب «سر الكون» لكبلر.)

الكواكب على هذه المسافات من بعضها، وهل هناك أي قاعدة تحدد عدد الكواكب. وهناك مخطط آخر يجعل المرء يظن أنه صالح لوصف قانون بودي Bode أو قاعدة تيتيوس-بودي Titius-Bode. يقع هذا النقاش خارج مجال هذا الكتاب، لكن تقريرًا عن تاريخه وخصائصه التي تحدد ما إذا كانت مثل هذه القاعدة مفيدة ورد على صفحات ١٥٦–١٦٠ من كتاب جيرالد هولتون وستيفين بروش Gerald Holton and Stephen Brush المشار إليه في المراجع.

لم يكن كبلر قانعًا باقتراح مخططات خفية لا تُقدَّم إلا لعدد قليل من الناس فقط بالنسبة لترتيب الكواكب في السماوات، وسيكون راضيًا إذا عملت هذه المخططات بطريقة تقريبية. كان يعتقد أن أي نظرية لا بد أن تتفق كميًّا مع البيانات المتاحة. وكان يدرك، مثل كل الفلكيين في أوربا، وجود الكم الهائل من البيانات الدقيقة التي حصل عليها تايكو براهي. ومن جهة أخرى كان براهي مدركًا لمقدرة كبلر الرياضية. وفي ١٦٠٠ أصبح كبلر مساعدًا لبراهي، الذي انتقل إلى ضواحي براغ وأصبح رياضي البلاط لرودلف الثاني، إمبراطور الإمبراطورية الرمانية المقدسة (الاسم الفخيم الذي كانت تعرف به إمبراطورية النمسا-المجر في ذلك الوقت). طرد براهي من مرصده لأن سكان الجزيرة التي بُني عليها المرصد اشتكوا إلى ملك الدانمرك (ابن راعيه) أنه كان يتحكم فيهم باستبداد. لم تكن علاقة كبلر وبراهي صافية دائمًا، إلا أن كبلر وجد في بيانات براهي عامل جذب قوي. توفي براهي بعد ثمانية عشر شهرًا في ١٦٠١ (نتيجة للتخمة والإفراط في الأكل)، وتولى كبلر مباشرة الوصاية على كل البيانات. وفي ١٦٠٢ عُين كبلر خلفًا لبراهي رياضيًّا للبلاط لدى رودلف الثاني.

كان براهي يتعجل كبلر ليحاول تنقيح نظرية براهي التواقعية لتتواءم مع البيانات، إلا أن ذلك لم ينجح. عاد عندئذ إلى نظرية مركزية الشمس، لكنه لم يشارك كوبرنيكوس اعتراضه على الإيكوانت، لذلك ضمنه في الحسابات. كما أجرى بعض التحسينات على بعض افتراضات كوبرنيكوس التفصيلية، ليجعلها أكثر اتساقًا مع نظريةٍ حقيقيةٍ لمركزية الشمس. وقد ركز بالتحديد على حسابات مدار المريخ؛ لأن ذلك بدا أنه الأصعب في توافقه مع البيانات. وكان أفضل اتفاق حصل عليه في المتوسط هو ١٠ دقائق على القوس. إلا أن كبلر كان يشعر أن بيانات براهي كانت جيدة حتى إن أي نظرية مقنعة لا بد أن تتفق معها في غضون دقيقتين. وقد شعر بأن مفتاح مشكلة الكواكب كلها يكمن في الدقائق الثماني التي لا تتفق معها. وبالتدريج وفي معاناة شديدة، وعلى مدى عقدين تخللهما العديد من الأمور المعطلة التي تضمنت

تغيير الوظيفة، ووفاة زوجته الأولى، وخوض معركة مع المحكمة دفاعًا عن والدته ضد اتهامات بالسحر؛ تمكن من التوصل إلى نظرية جديدة.

وبعد قضاء عدد من السنوات في دراسة بيانات كوكب المريخ، يئس كبلر من إيجاد التوافق في جمع انحراف المركز والناقل وفلك التدوير والإيكوانت الذي يجعل من الممكن وصف المدار بمصطلحات الحركة الدائرية. لذلك قرر في النهاية التخلي عن الشكل الدائري، قائلًا إذا لم يرغب الرب أن يجعل المدار دائريًّا، إذن مثل هذا المدار ليس ملزمًا. وتحقق كبلر عندئذ من أن مهمته هي تحديد الشكل الحقيقي للمدار. وبعد بضع سنوات، وفي ١٦٠٩ أعلن كبلر قانونيه الأول والثاني بوصفهما حلًّا جزئيًّا للمشكلة. ومن المثير أن كبلر قد اكتشف قانونه الثاني أثناء تعامله مع سرعة الكوكب في رحلته حول المدار، قبل أن يكتشف شكل المدار الدقيق، كما هو مقدم في قانونه الأول. ومؤخرًا في ١٦١٩ أعلن حل المشكلة، قانونه الثالث لحركة الكواكب، الذي يربط بين مدار الكوكب وسرعته.

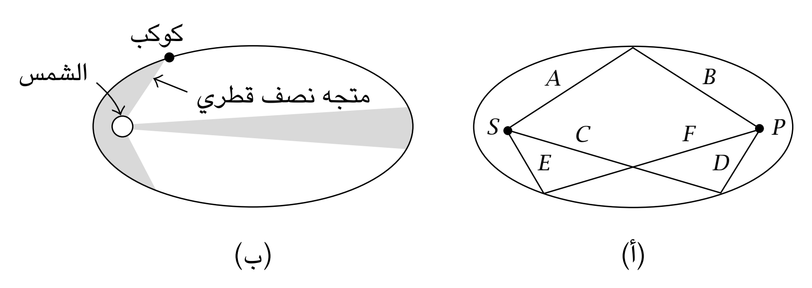
قوانين كبلر لحركة الكواكب بلغة اليوم، هي:

١- مدار كل كوكب حول الشمس قطع ناقص (بيضاوي) مع وجود الشمس في إحدى «بؤرتي» القطع الناقص

بمقارنه القطع الناقص بالدائرة، نجد أن الدائرة تحيط بنقطة خاصة تسمى المركز، وأن المسافة من المركز إلى أي نقطة على الدائرة هي نفسها دائمًا، أي ثابتة. بينما يحيط القطع الناقص بنقطتين خاصتين يطلق عليهما «بؤرتين»، وأن مجموع المسافتين من كل بؤرة إلى أي نقطة على القطع الناقص دائمًا ثابت. وقد صورنا هذا في شكل ٢-١٠(أ)، حيث مجموع أطوال الخطوط A وB أو C وD أو E وF هو نفسه دائمًا.

٢- يغطي الخط الواصل بين الشمس والكوكب (متجه نصف القطر) مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية أثناء رحلة الكوكب حول المدار

في شكل ٢-١٠(ب) يستغرق الكوكب الفترة الزمنية نفسها ليرحل على طول أقواس القطع الناقص محددًا المساحتين المظلمتين اللتين لهما المساحة نفسها. لذا عندما يكون الكوكب قريبًا من الشمس تزداد سرعته، وعندما يكون بعيدًا عن الشمس تنخفض سرعته.



شكل ٢-١٠: مدارات الكواكب — القطع الناقص. (أ) تكون قطع ناقص: S،P هما البؤرتان. مجموع المسافات إلى أي نقطة على القطع الناقص من البؤرتين ($A + B$، $C + D$، و$E + F$) هو نفسه دائمًا. (ب) القانون الأول والقانون الثاني لكبلر. يستغرق الكوكب الفترة الزمنية نفسها ليقطع الأقواس على القطع الناقص التي تحدد المساحتين المظللتين إذا كانت المساحتان المظللتان متساويتين.

٣- يتناسب مربع الفترة الزمنية للدورة (الزمن اللازم لدورة واحدة كاملة حول المدار) لكوكب ما حول الشمس مع مكعب متوسط بعده عن الشمس

ورياضيًّا يعني ذلك أن نسبة T^2 إلى D^3، حيث T تمثل الفترة الزمنية وD متوسط المسافة، هي نفسها لجميع الكواكب وقد صورنا القانون الثالث في جدول ٢-١ الذي يورد الفترة الزمنية T (بالسنوات) للكواكب، ومتوسط مسافاتها D (بالوحدات الفلكية، والوحدة الفلكية تساوي ٩٣ مليون ميل)، ومربع الفترة الزمنية T^2، ومكعب متوسط المسافة D^3 بهذه الوحدات، والنسبة تساوي الواحد الصحيح — أي $T^2 = D^3$.

وبهذه القوانين الثلاثة استكمل كبلر البرنامج الذي بدأه كوبرنيكوس. جعل كوبرنيكوس الشمس في مركز منظومة الكواكب، واستبعد كبلر فكرة الحركة الدائرية التي كانت متطلبًا للأجسام السماوية، وباستخدام مدارات على شكل قطع ناقص، تم الاحتفاظ ببساطة وجمال نظرية مركزية الشمس، في توافق رائع مع البيانات، ودون الحاجة إلى تصميمات مثل المركز المنحرف وفلك التدوير والناقل أو الإيكوانت. وحقيقة أن بؤرة القطع الناقص ليست في المركز تزودنا بانحراف المركز. ويؤدي قانون كبلر الثاني الوظيفة نفسها مثل الإيكوانت في تفسيره للسرعة المتغيرة للكوكب أثناء رحلته حول المدار.

ذهب كبلر أبعد من ذلك وأشار إلى أن الشمس هي المحرك الأصلي Anima matrix أو العامل المسبب. وقد وضع سبب الحركة في مركز الفعل وليس على أطرافه كما فعل أرسطو. وكان لدى كبلر فكرة بدائية حول قوى الجاذبية التي تمارسها

جدول ٢-١: البيانات التي تصور قانون كبلر الثالث لحركة الكواكب في المجموعة الشمسية.

الكوكب	T	D	T^2	D^3
عطارد	٠٫٢٤	٠٫٣٩	٠٫٠٥٨	٠٫٠٥٩
الزهرة	٠٫٦٢	٠٫٧٢	٠٫٣٨	٠٫٣٧
الأرض	١٫٠٠	١٫٠٠	١٫٠٠	١٫٠٠
المريخ	١٫٨٨	١٫٥٣	٣٫٥٣	٣٫٥٨
المشتري	١١٫٩	٥٫٢١	١٤٢	١٤١
زحل	٢٩٫٥	٩٫٥٥	٨٧٠	٨٧١

الشمس، لكنه فشل في ربط الجاذبية بمدارات الكواكب. وأكد بشكل حاسم بدلًا من ذلك أن الشمس تمارس تأثيرها من خلال تجميع الأشعة المنبعثة بواسطة الشمس والمغناطيسية الطبيعية للكوكب. وقد كان متأثرًا في اعتقاده ببعض العروض الماهرة للتأثيرات المغناطيسية بواسطة ويليم جلبرت William Gilbert الطبيب والفيزيائي الإنجليزي.

كانت ترجمة العنوان الكامل للكتاب الذي نشر في ١٦٠٩ حول القانونين الأول والثاني هو: «علم الفلك الجديد القائم على السببية، أو فيزياء السماء المشتقة من دراسات حركات كوكب المريخ، التي تقوم على أساس ملاحظات النبيل تايكو براهي» A New Astronomy Based on Causation or a Physics of the Sky Derived From Investigations of the Motions of the Star Mars Founded on Observations of the Noble Tycho Brahe (يشار إليه عادة باسم علم الفلك الجديد New Astronomy.) كان كبلر قد أكمل بالفعل الخطوط العريضة للكتاب في ١٦٠٥، إلا أن طباعته استغرقت أربع سنوات بسبب النزاع مع ورثة تايكو براهي حول امتلاك البيانات.

كان القانون الثالث لكبلر يدعى القانون الهارموني Harmonic law وهو معروض في كتاب يسمى إيقاع العالم Harmony of the World نشر عندما كان كبلر يشغل منصبًا أقل كرياضي محلي في مدينة لينز (Linz) بالنمسا، (كان راعيه السابق رودلف الثاني قد أجبر على التنازل عن العرش، وبذلك فقد كبلر وظيفته.) رجع كبلر في هذا الكتاب إلى صوفية الفيثاغورسيين التي اعتنقها في باكورة أيامه، ليبحث عن علاقات التناغم بين أبعاد الكواكب عن الشمس. وبدلًا من اكتشاف علاقة بين «السلم الموسيقي» للكرات السماوية وحجمها، اكتشف العلاقة بين سرعة الكواكب

(أي الفترة الزمنية للدورة)، وربط بشكل ما بينها وبين السلم الموسيقي والتناغم، وحجم المدار. وقد دعم هذا الربط مع التناغم ببعض الحسابات التي كانت مفاجأة في دقتها.

كان كبلر هو الشخص المناسب في الوقت المناسب ليكتشف قوانين حركة الكواكب. فأولًا وربما الأكثر مغزى أن كبلر كان صوفيًّا فيثاغورسيًّا. كما كان رياضيًّا ذا مقدرة فائقة ويعتقد أن الكون يمتلئ بالتناغمات الرياضية. ولشغفه بالأرقام والأشكال، كان الأمر نسبيًّا سهلًا بالنسبة له ليتبنى مدارات القطع الناقص — بمجرد أن تحقق نهائيًّا أن التصميم الدائري لا بد أن يكون خطأ. وأخيرًا كان كبلر مساعد براهي، ولذا كانت قياسات تايكو براهي متاحة له، وكان يعرف كم كانت دقيقة. ولم يكن في مقدور أي شخص آخر، أو موضع اهتمام من أحد، أن يجري الحسابات الرياضية التي تطلبها اكتشاف قوانين حركة الكواكب، ولا كان ذلك ممكنًا لأي أحد ممن يعتبرون التفاوت (أو الخطأ) في زاوية قدرها ثمان دقائق أمرًا له أهمية.

قام كبلر بإرسال نسخ من أعماله إلى عدد من أفضل الفلكيين المعروفين في أيامه وتراسل معهم بغزارة. وعمومًا، على الرغم من كونه محترمًا، فإن مغزى وتضمينات نتائجه ظلت غير معترف بها مدة طويلة فيما عدا بعض الفلكيين والفلاسفة الإنجليز، فقد تعود معظم الفلكيين على التوافق المتدني نسبيًّا بين النظرية والبيانات، ولذا فقد تشربوا فكرة الحركة الدائرية، حتى إنهم لم يتأثروا كثيرًا بنتائج كبلر.

فجاليليو مثلًا قد أهمل تمامًا أعمال كبلر حتى على الرغم من أنهما كانا يتراسلان، وكان جاليليو أسرع من أخذ يبحث عن دليل على مشاهداته في التلسكوب في أعمال كبلر. وليس واضحًا ما إذا كانت صوفية كبلر الفيثاغورسية هي التي صدت جاليليو، أم أنه مقتنع بالحركة الدائرية كحركة طبيعية للأرض وللكواكب الأخرى حتى إنه ببساطة لم يتقبل أي تفسير آخر. والحقيقة مع ذلك، هي أن جاليليو لم يباشر عمله بالتلسكوب إلا بعد أن نشر كبلر كتابه «علم الفلك الجديد»، ولم ينشر كتابه «الحوار» Dialogues سنة ١٦٣٢ إلا بعد وفاة كبلر بعامين.

وفقط بعد أن قام كبلر بحساب مجموعة جديدة من الجداول الفلكية، أطلق عليها اسم جداول رودلف Rudolphine Tables ونشرها سنة ١٦٢٧، أصبح من الممكن استخدام أفكاره وبيانات تايكو براهي لحساب التقاويم التي كانت أكثر دقة بكثير من التي سبق حسابها. فمثلًا، كانت التناقضات في الجداول القائمة على نظرية كوبرنيكوس، قد اكتشفها تايكو براهي في غضون عشر سنوات من نشرها،

وقد ظلت الجداول الرودلفية تستخدم لقرن من الزمان تقريبًا. وأثناء هذا الوقت أخذت أعمال كبلر تلقى تدريجيًّا قبولًا أكثر. غير أن أعمال كبلر لم تحظ بالقبول التام حتى مرت سبعون سنة أخرى، أي عندما نشر إسحاق نيوتن قوانينه للحركة وقانون الجاذبية العالمية، التي فسرت كيف ظهرت قوانين كبلر للوجود.

منهج الثورات العلمية

يشار غالبًا إلى إحلال نظرية مركزية الشمس محل نظرية مركزية الأرض بأنها ثورة كوبرنيكية Copernican. وبوصفها «ثورة» فإن الثورة الكوبرنيكية هي النموذج الأصلي للثورة العلمية، التي تقارن بها الثورات العملية الأخرى. وفي الحقيقة لا يمكن مقارنة أي ثورة علمية أخرى بها بمدلول تأثيرها على أطوار الفكر، على الأقل في الحضارة الغربية. والثورة الوحيدة التي تقترب منها في هذا الصدد هي الثورة الداروينية، التي توافقت مع تطوير النظرية التطورية البيولوجية.

ويشار غالبًا إلى الثورة الكوبرنيكية على أنها تصور التناقض بين العلم والدين، مع أن زعماءها — كوبرنيكوس وجاليليو وكبلر — كانوا أتقياء ورعين. وعلى الجانب الآخر، وفي داخل المؤسسة الدينية، كان هناك الكثيرون الذين لم يكونوا يتبعون التفسير الحرفي للعقيدة الدينية، وفي البداية على الأقل كان أكثر الخوف بالنسبة للثوريين ليس اللوم أو الاستهجان بواسطة السلطات الدينية بل سخرية نظرائهم العلميين. فكيف لهم أن يتَحَدَّوا الكيان الراسخ للمعرفة العلمية والإيمان؟

فضلًا عن هذا، لم تحدث الثورة بين يوم وليلة، فقد مر حوالي ١٥٠ سنة بين بداية الدراسة الجادة لكوبرنيكوس وحتى نشر نيوتن دراسته عن الجاذبية. أما بذور الثورة فترجع إلى الوراء حوالي ألفي عام قبل كوبرنيكوس، إلى فيلولاوس Philolaus الفيثاغورسي. ومع تراكم النظريات الأقدم والحقائق الغريبة غير المفسرة، أصبح حمل إدخال التحسينات الضرورية ثقيلًا، وأخذت تنهار النظريات الأقدم. ورغم ذلك، كانت هذه النظريات الأقدم ناجحة بشكل عجيب. وفي الحقيقة، كان عدد قليل فقط من الأجسام السماوية من بين كل جيش السماوات (الكواكب) قد تسبب في صعوبات كبرى للنظرية المستقرة. وقد حدثت الثورة بسبب التحسينات الكمية في البيانات والاعتراف بالتناقضات (الفروق) الضئيلة وليس التناقضات الكبيرة، ليس فقط في البيانات وإنما كذلك في الطريقة التي عوملت بها هذه البيانات. كذلك فإن تطوير التكنولوجيات الجديدة والأجهزة الجديدة التي أعطت نوعيات وأنواعًا جديدة

من البيانات، لعب دورًا عظيمًا. وفي الوقت نفسه لم تكن المفاهيم الجيدة نفسها في البداية قادرة على استيعاب كل البيانات، وكان المدافعون عنها مطالبين أن يكونوا صامدين بشكل غير معقول في مواجهة النقد العنيف. وعلى الأرجح، كانت نظرية جديدة متوقعة ستتخطى العدد الكبير من الاعتراضات، وحتى عندئذ فإن بعض المدافعين عن النظرية القديمة لم يقتنعوا أبدًا في الواقع.

ليست كل الأفكار الثورية في العالم ناجحة، أو حتى تستحق أن تنجح. فإذا فشلت الحقائق القائمة في تفسير الحقائق المستقبلية التي ستتطور، أو إذا كانت غير قادرة على التعديل، أو التحسين، أو التطوير في مواجهة المزيد من الحقائق، فإن قيمتها تصبح ضئيلة. كانت نظرية مركزية الشمس ناجحة لأنها كانت قابلة للتكيف. كان كبلر وكوبرنيكوس وآخرون قادرين على تضمين أشياء مثل المراكز المنحرفة وأفلاك التدوير داخل المخطط، وأخيرًا، ضمنوا شكلًا مختلفًا للمدار، القطع الناقص، وذلك دون أن يدمروا الفكرة الأساسية، بحيث يمكن توسيعها لتتسع لتنويعات واسعة من الحقائق التجريبية.